

Tendencias en investigación en el Conocimiento Pedagógico de Contenido de profesores de física en formación inicial¹

Jaime Duván Reyes Roncancio

Universidad Distrital “Francisco José de Caldas”
jdreyesr@udistrital.edu.co

Se presenta una aproximación al estado del arte de las investigaciones en la línea reconocida internacionalmente como Pedagogical Content Knowledge (PCK) específicamente para el estudio de casos centrados en profesores de física en formación inicial. Este trabajo organiza algunas categorías interpretativas resultado de un primer análisis de contenido inherente a un proyecto de tesis doctoral en educación en ciencias. Los resultados también evidencian una diversidad relativa en los centros de atención de los investigadores que involucra el interés por favorecer algunos componentes del PCK en relación con la termodinámica, la gravitación y el movimiento. De igual forma, se destacan los aportes en la conceptualización del PCK que algunos de los investigadores mencionan como referente teórico.

Palabras Clave: Conocimiento Didáctico de Contenido, PCK, formación de profesores, Física.

This article focuses on the background in Pedagogical Content Knowledge (PCK) research, specifically for the case studies of physics teachers at initial training (pre service). It also organizes some interpretative categories as result of the initial content analysis related to a PhD project in science education. The results also show a relative diversity in the point of interest of researchers that involves the relevance of encouraging some components of PCK in connection with thermodynamics, gravity and motion. Similarly, it highlights the contributions to the conceptualization of PCK that some of the researchers quoted as theoretical reference.

Keywords: Pedagogical Content Knowledge, PCK, pre-service physics teacher, Physics.

Introducción

Desde el planteamiento de Shulman (1986) el Conocimiento Pedagógico del Contenido (PCK) ha venido siendo investigado tanto en el campo de la práctica profesional del profesor (profesores en ejercicio novatos y experimentados) como en el de la formación inicial de docentes (en programas de profesionalización, certificación o licenciaturas). Su definición incluye aspectos de la pedagogía y de la ciencia que se enseña tal como lo declara Shulman:

“Dentro de la categoría conocimiento pedagógico del contenido incluyo los temas más comúnmente enseñados en una determinada asignatura, las formas más útiles para representar las ideas, las analogías, ilustraciones,

ejemplos, explicaciones y demostraciones más poderosas, en una palabra, las formas de representar y formular el contenido para hacerlo comprensible a otros. El conocimiento pedagógico del contenido también incluye un conocimiento de lo que facilita o dificulta el aprendizaje de temas concretos; las concepciones y preconcepciones que los estudiantes de diferentes edades y procedencia traen consigo cuando aprenden los temas y lecciones más frecuentemente enseñadas” (Shulman, 1986).

En este sentido se hace importante destacar que esta línea de investigación deviene de aquellos estudios iniciales (Shulman, 1986; Grossman, 1989) que cuestionaron el conjunto de investigaciones de proceso-producto en las que se proponía investigar el conocimiento

¹ Este artículo forma parte del trabajo de descripción del estado del arte de la investigación en Conocimiento Pedagógico del Contenido en el marco del proyecto de Tesis Doctoral en Educación con énfasis en ciencias naturales que el autor viene realizando en el Doctorado Interinstitucional en Educación de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

de los profesores en relación exclusiva con el rendimiento de los alumnos, ante las que se asumieron propuestas alternativas de revisar este aspecto ya no en los resultados de las evaluaciones sobre lo que los estudiantes saben, sino más bien en el reconocimiento del profesor como sujeto epistémico que también ha aprendido el contenido en formas específicas y al que le asigna determinadas connotaciones en el proceso de hacerlo comprensible por sus estudiantes. Este enfoque es en definitiva una apuesta por considerar que el profesor piensa y actúa (consciente o inconscientemente) mediado por la relación entre su conocimiento pedagógico, su conocimiento del contenido de las ciencias y el conocimiento del contexto, pues *“el profesor inevitablemente transforma el contenido en algo, un contenido enseñable que tiene su propia lógica y estructura, y tiene sentido para los alumnos. El conocimiento que ayuda a que se produzca esta transformación del conocimiento incluido en el currículo escolar, en algo que tenga sentido para los alumnos, es a lo que denominamos PCK (Conocimiento Pedagógico de Contenido)”* (Stengel, 1992, citando en Marcelo, 1992).

Algunos otros autores, (Marcelo, 1992; Bolívar, 1993 y Benejam, 1993) coinciden en destacar que la propuesta inicial de Shulman (1986) sobre el Conocimiento Pedagógico de Contenido considera: *“las pretensiones de la materia que se enseña, las valoraciones que se hacen del currículo, las estrategias (uso de analogías, la ejemplificación, las explicaciones, las demostraciones) de enseñanza así como los avances y las dificultades comprensivas de los estudiantes.”* El énfasis que, al parecer, se le ha venido dando tiene ejes interesantes para la formación en didácticas específicas de los profesores de ciencias, así como lo planteado por el Holmes Group (1986) citado en Bolívar (2005, p.26). cuando se refieren a que:

“una importante y amplia línea de trabajo debe focalizarse en la didáctica de las materias de enseñanza. Los cursos sobre métodos genéricos deben reemplazarse con estudios orientados a la enseñanza y el aprendizaje de las disciplinas. Este trabajo debe basarse en una mejor comprensión -de la investigación académica a

los estudios clínicos de la práctica- de la buena enseñanza y aprendizaje de temas específicos”

En este marco general de investigación se ubica el presente reporte orientado por una pregunta fundamental a saber: ¿Cómo categorizar las tendencias de investigación en Pedagogical Content Knowledge (PCK) para el caso de los profesores de física en formación inicial, de manera que se puedan distinguir perspectivas de indagación de orden teórico y metodológico así como posibles conceptualizaciones sobre el PCK y sus componentes?

Metodología

Como estrategia metodológica se asumió el análisis de contenido de informes de investigación o artículos relacionados con PCK que se encontraron reportados principalmente en la base de datos ERIC. La búsqueda realizada, al momento de analizar el material, arrojó una respuesta inicial de ocho artículos que reunieron los siguientes criterios: a. ser informes de investigación, b. tener como referentes conceptuales el PCK y c. investigar el PCK en profesores de Física en pre-servicio. Los trabajos se analizaron desde dos perspectivas fundamentales, por un lado se buscó evidenciar si en éstos se hacen aportes al desarrollo conceptual del PCK cuando se aborda la investigación con profesores en pre-servicio, en segundo lugar se buscó identificar las estrategias metodológicas utilizadas y los tipos de estudio realizados con los participantes. Esto permitió la organización que a continuación se presenta.

La Modelación en el enfoque de traducción – transformación del PCK

En el caso de una perspectiva del modelamiento se tienen trabajos como los de Sperandio-Mineo, Fazio y Tarantino (2006), se asume la perspectiva investigativa desde los desarrollos de los procesos clínicos de Linjse (1995) que permite la reflexión teórica, el análisis conceptual, el desarrollo curricular a pequeña escala y la investigación de las interacciones en el proceso enseñanza/aprendizaje. Los dos pro-

pósitos fundamentales en este estudio fueron: a) construir un ambiente de enseñanza/aprendizaje que provea a los profesores en formación condiciones adecuadas para el desarrollo de un modelo de construcción de búsqueda de información en medios colaborativos y, b) investigar las correlaciones entre las características del ambiente de enseñanza/aprendizaje y las competencias desarrolladas por los profesores en formación en dirección hacia la construcción de un PCK apropiado. En este sentido la investigación se preguntó cómo desarrollar un PCK desde la perspectiva de los procesos de la transformación del conocimiento y sobre las estrategias cognitivas usadas para ubicar las explicaciones de los profesores en formación dentro del dominio de la modelación de los fenómenos de física térmica.

En este estudio se trabajó con 28 profesores de física en pre-servicio durante el primer semestre de los dos años del programa de post-graduación que los prepara como profesores de física, y se enfocó en las relaciones entre fenómenos observables, como propiedades macroscópicas térmicas de la materia y sus interpretaciones y/o explicaciones en términos de características corpusculares y/o de la teoría termodinámica. Uno de los aspectos que se destacan en esta investigación consiste en el cuestionamiento que se hace de lo que sugiere la literatura respecto de los procesos de transformación de conocimiento, específicamente a entenderlos como procesos en una sola dirección (desde el conocimiento importante de la materia hacia el PCK); la crítica sugiere considerar una comprensión de orden bidireccional en la que el análisis en profundidad del conocimiento importante de la materia y un incremento en la conciencia de los profesores

en formación acerca de las tareas pedagógicas asociadas serían una postura alternativa.

Respecto a la construcción de un PCK apropiado la investigación reporta resultados efectivos en el desarrollo de ambientes de enseñanza /aprendizaje. En especial se destaca que se permitió a los estudiantes en formación experimentar en ambientes de aprendizaje que supuestamente podrían implementar en sus futuras clases; de suerte que podrían, eventualmente, verificar su validez pedagógica así como hacer uso de ellas para dirigir la asignatura de física a nivel de las comprensiones conceptuales que ellos necesitarán desarrollar en sus futuros estudiantes.

En cuanto a los principios de desarrollo meta-cognitivo la investigación reporta su validez en dos aspectos principales:

1. Los profesores consideran que debe hacerse énfasis en actividades y procesos de aprendizaje en lugar de procesos acumulativos de aprendizaje;

2. Los profesores invirtieron suficiente tiempo en la reflexión sobre las estrategias de aprendizaje y las habilidades asociadas a la autorregulación.

A juicio de los investigadores estos dos aspectos evidencian niveles de conciencia de los futuros profesores de física en su proceso de aprendizaje de la enseñanza. Aunque se reconoce que muchos profesores en formación que participaron en la investigación obtuvieron buenos alcances en el desarrollo del PCK también se aclara que su correspondiente traslado a competencias efectivas y procesos de enseñanza y aprendizaje de la física requiere mayor investigación. En cuanto a este aspecto también se aclara que el PCK fue entendido desde sus inicios como una especie de conocimiento



Figura 1. Conocimiento Pedagógico del Contenido del profesor de física en formación inicial con base en Sperandeo, Fazio y Tarantino (2006)

acerca de las representaciones del contenido importante y su enseñanza en términos de las dificultades específicas de aprendizaje. Sin embargo, un aporte importante de esta investigación es que profesores en pre-servicio (y algunas veces profesores en servicio) muestran las mismas dificultades y representaciones que las de sus futuros estudiantes, aspecto que permite ampliar el espectro investigativo en profesores de física en formación de suerte que pueda profundizarse la comprensión de esta problemática. Un valor agregado aquí tiene que ver con los procesos de diseño y desarrollo curricular de programas de formación de profesores de física en los cuales el desarrollo del PCK tenga una estrecha relación con tópicos específicos así como con el conocimiento importante de las asignaturas de física, donde uno de estos, que para el caso de estos investigadores, es el relacionado con la termodinámica. El reporte de la investigación concluye también haber ayudado a los profesores de física en formación a transformar su conocimiento de las propiedades térmicas de la materia, no sólo para estimular el aprendizaje de sus estudiantes sino también para comprender mejor este tópico.

Los resultados de la investigación destacan la importancia del razonamiento cualitativo de fenómenos físicos en la comprensión de los mismos así como en las implicaciones que se derivan al establecer una didáctica particular de los mismos. Ahora bien, como la investigación imbricó a los estudiantes posicionarse en un ambiente de familiarización con las herramientas pedagógicas que favorecían los procesos de modelamiento, se dice aquí que esto permitió la conceptualización del papel de los modelos físicos. Las evidencias del estudio realizado muestran que las habilidades adquiridas para modelar podían ser usadas para transferir conocimiento a los futuros estudiantes.

En este mismo enfoque de modelación, en la formación de profesores de física, se encuentran el trabajo de Ogan (2007), investigación que tuvo dos énfasis: en primer lugar identificar el conocimiento de los profesores de física en formación inicial -en Turquía- sobre la Luna, sus fases y otros fenómenos lunares y en segundo lugar los efectos de la enseñanza basada en modelos en las concepciones de los profesores

en formación, entendidas estas últimas como modelos mentales. Los resultados indican que algunos de los modelos mentales de los profesores de física pasaron de ser incompletos (que no contemplan todas las variables y sus relaciones intrínsecas) o muy ligeros, a modelos correctos sobre la Luna y sus fenómenos, de manera que se validó la enseñanza basada en modelos en la formación de estos profesores. En otro trabajo (Ogan, 2006) la autora pretende básicamente diferenciar el conocimiento entre dos grupos de profesores de física en pre-servicio: uno habiendo experimentado la enseñanza basada en modelos y el otro sin haberla experimentado. Los resultados indican que los dos grupos no presentan diferencias significativas en su conocimiento acerca de los modelos. Sin embargo, un análisis detallado de los resultados muestra que el grupo de profesores de física en pre-servicio que usó la enseñanza por modelación manifiesta un conocimiento diferenciado acerca de las características, los roles y las funciones de los modelos; de suerte que la posible implementación de la enseñanza por modelación en los profesores de física en pre-servicio podría afectar positivamente sus percepciones acerca de la modelación y permitir el uso de modelos en su enseñanza. En este sentido Ogan considera que: *“Los modelos juegan un papel central en la educación en ciencias. Para introducir modelos exitosamente en la enseñanza de la ciencia se requiere que los profesores tengan una adecuada comprensión acerca de la modelización y los modelos”* (Ogan, 2006, p.1068).

Los presupuestos teóricos y de investigación en el trabajo de Ogan refieren a Boulter y Gilbert (2000) acerca de la modelación; Harrison y Treagust (2000) acerca de los modelos analógicos; Justi y Gilbert (2002) acerca del conocimiento de los profesores sobre la modelación como mecanismo pedagógico para ayudar en las comprensiones de sus estudiantes; Van Driel y Verloop (1999) en lo que tiene que ver con el conocimiento práctico de los profesores de ciencias, respecto a la modelación y los modelos en ciencia, así como a las concepciones que sobre éstos se tienen por parte de los profesores. En esta tarea Ogan comenta que *“La revisión de la literatura muestra que los profe-*

sores podrían tener una idea general acerca de los modelos pero su conocimiento sobre el uso de modelos en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias es limitado” (Ogan, 2006, p. 1070), manifestando así la diversidad de criterios que existen entre los profesores acerca de la modelación pero evidenciando el rango de uso que los profesores hacen de tal proceso, así como el nivel de conciencia acerca del valor de los modelos en el aprendizaje de las ciencias, pero no necesariamente en su valor en el aprendizaje acerca de la ciencia.

Estos dos trabajos se enfocan a fortalecer el Conocimiento Pedagógico del Contenido de los profesores de física en formación asumiendo a la modelación como uno de sus componentes donde el modelo analógico resulta ser representante del conocimiento del profesor como categoría general. En estas circunstancias los autores no realizan conexión explícita de carácter sustancial entre conocimiento pedagógico del contenido y conocimiento del profesor pero si parecen enfatizar en entender la modelación en la enseñanza como uno de los componentes del PCK.

La perspectiva evolutiva del PCK

Los trabajos en esta dirección parecen apuntar a considerar la posibilidad de interactuar con un conocimiento didáctico de contenido que los profesores de física, en formación inicial, manifiestan desde las primeras etapas de la investigación y, que puede ser estudiado en la medida en que se va transformando. Así, la investigación de Veal, Tippins y Bell, (1999) asume que el PCK se valida como parte esencial del profesional de la enseñanza y por esto el estudio pretende investigar su desarrollo en profesores de física en formación, especialmente queriendo aportar al revisar el proceso que permitiría a los profesores novatos desarrollar la habilidad para hacer enseñable el conocimiento científico. Las concepciones sobre la diferenciación epistemológica del PCK frente a las categorías que había planteado Shulman (1987), se basan en los argumentos dados por Grimmett y Mackinnon (1992), quienes consideran que el PCK es un conocimiento parti-

cular que implica reflexionar acerca de cómo debe ser enseñado el conocimiento importante de la materia (física) en lo que pareciera ser un enfoque de orden traslacionista. Los conceptos físicos asociados a la investigación fueron: movimiento lineal (velocidad, rapidez y aceleración), y “*Las situaciones involucradas con PCK durante esta viñeta se concentraron en 1) Las formas erróneas de enseñar algunos conceptos del movimiento lineal (el movimiento lineal puede ocurrir sobre el piso o en el aire) y, 2) Un estudiante quien interrumpió la clase por que su estilo de aprendizaje no se ajustó al método de enseñanza del profesor (el mini laboratorio se completó con carros no motorizados para después hacer una demostración con un carro motorizado)*” (Veal, Tippins y Bell, 1999, p. 10) Aquí parece entenderse el PCK desde la revisión de las ideas alternativas de los estudiantes, así como desde la reflexión acerca de la toma de decisiones frente a las situaciones de aprendizaje y de enseñanza en la clase de física.

Otros conceptos abordados en esta investigación fueron el calor y la termodinámica mediante el uso de varios métodos pedagógicos, el profesor demostró algunos conceptos, realizó algunas lecturas, llevó a cabo una discusión e hizo un mini-laboratorio. Las situaciones que involucran PCK son “1) *El uso de métodos de enseñanzas poco conducentes respecto a los tipos de aprendizajes en la clase (el uso de la analogía de la caída del agua para explicar la conservación de la energía) y, 2) Los errores de la enseñanza de conceptos de termodinámica (el calor como la cantidad de energía que se tiene)*” (Veal, Tippins y Bell, 1999, p. 11) Aquí, el PCK puede estar entendiéndose desde el análisis de la eficacia de métodos de enseñanza, en la distinción de tipos de aprendizaje, donde al igual que en el caso de Ogan se referencia el uso de las analogías como componente del PCK, en el entendido de verlas como recursos del docente que surgen en los procesos de enseñanza y que también deviene de la ciencia que enseña.

Los investigadores proponen una definición operacional del PCK: “*El Conocimiento Pedagógico del Contenido es la habilidad para traducir el conocimiento de la disciplina*

a grupos diversos de estudiantes usando múltiples estrategias y métodos de enseñanza" (Veal, Tippins y Bell, 1999, p.32), aclarando que el uso del término "traducir" les resulta más conveniente, en lugar de usar el término "transformar" de Shulman (1987), porque el contenido es ajustado con el objeto de que sea comprendido por los estudiantes, es decir, los conceptos científicos se traducen en unidades comprensibles que signifiquen algo para los estudiantes. Esta metáfora del traductor parece utilizarse aquí en el entendido de que cuando un traductor hace su trabajo debe conocer el nivel de comprensión de su audiencia para decidir qué tipo de palabras usar, en qué lugar colocarlas, cómo usar las manos y los gestos para facilitar el aprendizaje y tener en cuenta aspectos culturales que le pueden ayudar en su traducción.

Por último, el equipo de Veal invita a que los programas de formación de los profesores se concentren en desarrollar tópicos específicos del PCK en los futuros maestros, en especial aquellos que desarrollan estrategias de enseñanza de la física. Proponen, igualmente, que las universidades podrían trazar el puente entre los institutos de educación y aquellos institutos de formación en ciencias. Este tipo de vínculos podría ayudar a los futuros profesores a entender cómo el PCK puede colaborarles en los procesos de enseñanza de las ciencias así como en el aprendizaje de sus estudiantes. Por otro lado dejan abierta la posibilidad de continuar estudiando la manera cómo el conocimiento de base se integra con la educación en ciencias a través del PCK. Igualmente se valida a la experiencia en el aula de clase como uno de los factores más importantes en el desarrollo del PCK, destacando la relación entre experiencia, PCK, y conocimiento de base como un gran marco de referencia teórico en la educación en ciencias.

Otro de los trabajos de Veal (1999b) con el enfoque evolucionista traslacionista aborda dos preguntas principales: ¿Cómo se desarrolla el Conocimiento Pedagógico del Contenido en profesores de Física y de Química? y ¿Qué modelo se podría construir para mostrar la relación entre las creencias de los profesores sobre la enseñanza y el PCK? Uno de los supues-

tos que aquí se manifiestan radica en considerar las creencias como factores estructurantes de las decisiones que toman los profesores en formación acerca de las posibles estrategias de enseñanza con sus estudiantes, siendo éstas precisamente las que a juicio de los autores coadyuvan en el desarrollo del PCK. En este sentido la investigación diseñó un modelo para el desarrollo del PCK en el que las creencias forman parte esencial de lo que los autores denominan "learning to teach locution".

La metodología seguida en el estudio fue de naturaleza cualitativa recogiendo la perspectiva del estudio de caso desde enfoques teóricos y prácticos. Se trabajó con cuatro estudiantes del profesorado de ciencias: dos en Física y dos en Química en dos escenarios principales: el primero de estos fue el programa de formación de profesores de ciencias y más específicamente la clase sobre currículo en ciencias y el segundo fue el contexto de la experiencia de enseñanza en la secundaria de las futuras profesoras. Esta estrategia metodológica se centra en la búsqueda de evidencias del desarrollo cognitivo del PCK en relación con las creencias de las profesoras. El reporte de esta investigación hace algunas referencias generales del contexto de investigación en donde se señalan aspectos asociados a los tipos de escuelas en las que se hizo el estudio tales como: género, clases sociales, procedencia rural nacional o inmigrante, y también se comentan elementos de la historia académica de cada una de las cuatro participantes (Randi, Amy, Maggie y Tami). Otros factores en este recuento son el fundamento de su formación curricular y de aprendizaje de la física, las fuentes del desarrollo del currículo (lo establecido por el colegio) los elementos que cada una fue agregando y algunos textos de uso obligatorio por políticas educativas de cada institución.

En cuanto a los métodos de recolección de información se utilizaron: entrevistas semi estructuradas, documentos como: programas de los cursos, políticas y filosofía de enseñanza, preguntas que surgieron en el proceso de entrevista, notas de campo tomadas tanto en el curso de formación de profesores en ciencias como en las experiencias de enseñanza como tal. Igualmente las notas de discusión sobre los

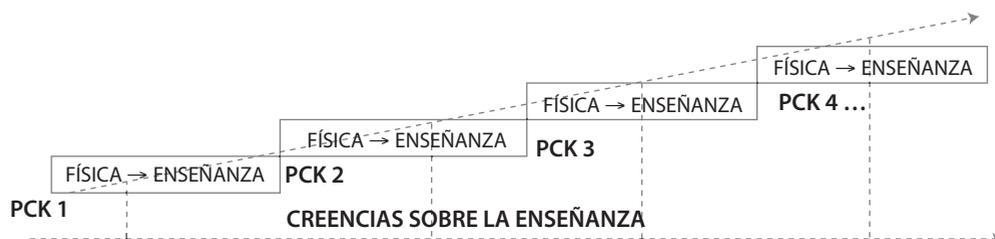


Figura 2. PCK del profesor de física en formación inicial. Representación (del autor) con base en la interpretación de las investigaciones de Veal W. (1999)

proyectos de clase de las participantes, también se usaron como fuente de información.

En la investigación utilizó una variación del método microgenético, que consiste en que las participantes recibieron continuamente la misma tarea en un determinado periodo de tiempo (Siegler y Crowley, 1991); las tareas se nombraron viñetas y se asignaron en los dos periodos de formación para obtener la certificación como profesoras. El estudio muestra un análisis de categorías emergentes tanto para las profesoras de química como para las de física. En éste último caso se destacan: a) la física se entiende como una disciplina matemáticamente orientada, b) la física fue percibida como la asignatura de mayor dificultad, y c) la física fue vista desde una perspectiva macroscópica.

El modelo TTF (Técnicas-Tácticas-Funciones) consiste en una alternativa que guía los procesos de aprendizaje de los futuros profesores de física en lo que Veal denomina el laberinto de sus fundamentos de conocimiento. De igual forma el modelo TTF muestra en la investigación una alternativa para desarrollar el PCK teniendo en cuenta que mediante éste se puede dar cuenta de los puntos de vista de los profesores acerca de la enseñanza antes y durante sus experiencias de enseñanza, especialmente se enfatiza aquí que el modelo TTF permite representar las formas de entender la enseñanza de las ciencias o la enseñanza de contenidos específicos, mientras se aprende a enseñar, aspecto que puede ser utilizado como referente en los procesos de certificación en el marco de las políticas educativas. El modelo

define las Técnicas como una habilidad adquirida o aprendida por medio de acciones repetidas, como por ejemplo las técnicas de una de las participantes del estudio en relación con el intercambio de variables en una ecuación sin necesidad de explicaciones profundas sobre este procedimiento. Las Tácticas se definen como los procesos para lograr las metas, para el caso de las profesoras de física se aduce que el proceso mediante el cual ellas aprenden a usar variadas técnicas matemáticas dentro de un contexto específico de aprendizaje de sus estudiantes se considera como una táctica ya que ésta eventualmente ayuda en el desarrollo de metas de aprendizaje como las relacionadas con aprender conceptos físicos por medio de las matemáticas. Ahora bien, los aspectos *Funcionales* del modelo TTF describen los contextos específicos en los cuales los profesores y los estudiantes logran la misma meta: el contexto es el aula de clase y todos aquellos factores asociados al logro de la meta.

Un gran aporte de este trabajo se encuentra en reconocer dos aspectos principales: 1) Que el PCK de las profesoras en formación se encuentra en un proceso de desarrollo y 2) Que las reflexiones facilitadas en el desarrollo de la investigación permiten asociar sus creencias a este PCK en gestación. Los efectos de las creencias en el PCK se pudieron apreciar al concluir que las participantes no desarrollaron completamente un cambio conceptual acerca de la enseñanza de las ciencias, una vez analizadas las clases y experiencias de enseñanza, las profesoras mantuvieron sus visiones sobre conceptos

específicos al priorizarlos sobre visiones más sistémicas. Los profesores en formación inicial tienen dificultades en el desarrollo de su PCK en relación con la potencialidad por alterar las creencias estructurales acerca del carácter mágico, abstracto o matemático de los conceptos físicos que aducen saber, todos estos mediados por la forma en la que les fueron enseñados. Veal discute también que para desarrollar el PCK los profesores en formación deben cambiar sus creencias que muchas veces están cargadas de errores conceptuales producto de las formas particulares en las que fueron aprendidos.

Por otra parte la investigación también establece algunas categorías sobre creencias y desarrollo del PCK, tales como: a) la Química como magia; b) la abstracción en relación con la enseñanza en contextos concretos; c) la dificultad de la Física esta asociada a las percepciones como una asignatura que demanda niveles de abstracción complejos, aspecto que las profesoras dejaron ver en sus relatos sobre cómo fueron formadas con esta visión y que precisamente esto las motiva a planear y desarrollar la enseñanza desde una perspectiva que incluya aplicaciones y actividades manuales en las que las ideas se pongan en juego; d) la prioridad dada a la matemática y a las experiencias físicas de las dos profesoras de física influenciaron las formas particulares como ellas percibían la enseñanza de la física, en ambos casos la creencia de que las matemáticas están a la base de la enseñanza de la física se manifestó aunque de manera diferenciada; e) macro y micro perspectiva de la Termodinámica: Veal refiere a la investigación de Magnusson, Borko y Krajick (1994) en la que los marcos de referencia desarrollados describen el conocimiento de contenidos específicos necesarios para el análisis de la investigación. Los marcos de referencia fueron creados para describir cómo los profesores de física de secundaria veían a la Termodinámica. El marco de referencia microscópico fue asociado con el movimiento molecular y la energía calorífica; y el marco macroscópico fue asociado con los sistemas de energía con tres sub-marcos de referencia que los profesores del estudio asociaron al análisis de los conceptos de calor y temperatura: “Factor, Ener-

gía, y Transferencia”. Magnusson considera la perspectiva de la transferencia como “energía calorífica” asociando la energía con el cambio en la temperatura argumentando que ésta es la interpretación correcta de acuerdo con los principios de la física.

Esta investigación señala cómo algunas profesoras asumieron la perspectiva macroscópica de la Energía en sus cursos de formación pero lo cambiaron a una perspectiva de transferencia durante su experiencia de enseñanza, aún cuando algunos otros mantuvieron la perspectiva macroscópica de la energía, situación que deja ver como el desarrollo del trabajo basado en las creencias y en el proceso de “aprender a enseñar” un dominio específico de la ciencias puede ayudar a los profesores en formación a desarrollar su PCK.

Perspectiva de desarrollo del PCK en el contexto de formación

El trabajo de Paul Nicholson (2001) presenta el análisis de los conocimientos científicos y los conocimientos pedagógicos sobre la idea de gravedad en cuatro profesores de ciencias de pre-servicio, estos últimos relacionados con la enseñanza del concepto de gravedad en el marco del currículo del bachillerato. Los investigadores examinaron las comprensiones que sobre la gravedad dieron los profesores en pre-servicio en el contexto de la órbita planetaria y las formas particulares en las que ellos representaban sus ideas de gravedad a sus estudiantes, teniendo en cuenta que se admite que el PCK es un conocimiento que tiene que desarrollarse y adquirirse en forma paralela con el desarrollo del conocimiento relevante de las asignaturas. De esta manera la investigación diferencia el PCK del “conocimiento del contenido” (tal como lo hacen otros autores, incluido Shulman, 1987; Bromme, 1988) y propone alternativas de promoción de ambos tipos de conocimiento desde la perspectiva de la interacción y el diálogo de saberes. Consecuentemente se enfatiza que el PCK de los profesores debe coadyuvar en el desarrollo del “*conocimiento de base*” y se invita a plantear distinciones argumentadas y con resultados de investigación (ej.: Magnus-

son, Krajcik, y Borko, 1999). No es pues una investigación en marco meramente cognitivo del conocimiento físico de los futuros profesores de física, ya que se aclara que tales investigaciones ponen demasiado énfasis en establecer la serie de conocimientos físicos errados que los profesores adquieren en su formación, poniendo al PCK en el foco de la investigación en educación y centrándose en dos preguntas fundamentales: ¿Cuál es la naturaleza del PCK de los participantes y el conocimiento de contenido sobre la gravedad? y ¿Cuál es la naturaleza del conocimiento pedagógico en el que el desarrollo de un software se puede soportar para facilitar el desarrollo tanto del PCK como del conocimiento de contenido en ésta área del currículo?

Las conclusiones de este trabajo evidencian la preocupación por la calidad de la preparación de los profesores tanto en el campo de la física como en la pedagogía. En cuanto a la primera se revelan grandes dificultades en las redes conceptuales que los profesores tienen sobre el contenido de física, y respecto a la segunda se manifiesta que hay problemas en reconocer estrategias acordes con los contextos de enseñanza. Sin embargo, la alarma del investigador parece contradecirse con sus presupuestos sobre el PCK, ya que consideran que la causa (al parecer única) de que los estudiantes tengan grandes dificultades para explicar los conceptos científicos básicos a sus futuros pupilos, es que no tengan claros tales conceptos, olvidando así, que hay otros factores asociados a la eficacia de la enseñanza que pueden afectarla aún cuando los contenidos sean absolutamente claros para los profesores. Así, considerando la perspectiva denominada "out of field" (Cochran y Jones 1998), y retomando los argumentos de Dykstra (2000), la investigación asume que los profesores parecen enseñar alejados del campo de la ciencia y, por ende, la perspectiva de desarrollo del PCK se fundamenta en asegurarse de que los profesores tengan en primer lugar una sólida base conceptual de la física para con ello poder diseñar ejemplos, modelos, metáforas, etc. Aspectos que Nicholson entiende como componentes esenciales del PCK. En este sentido se podría interpretar que para Nicholson las

actividades y las representaciones son los dos componentes principales del PCK. Las primeras son las actividades educativas de aprendizaje usadas para ayudar a los estudiantes en el aprendizaje de contenidos, y las segundas tienen dos referentes: 1) las formas de representación de conceptos específicos para facilitar el aprendizaje y el conocimiento de las fortalezas y debilidades de representaciones específicas y 2) la habilidad para inventar representaciones que ayuden a los estudiantes en la comprensión de conceptos específicos y sus relaciones.

Con todo, Nicholson propone que la formación de profesores debe focalizarse en considerar el desarrollo de la *experticia* en lugar del énfasis que se le da a la adquisición de conocimiento científico de forma aislada.

Otros estudios en este campo revelan cómo los profesores de física en formación tienen dificultades de comprensión de los conceptos físicos, así como en la definición y desarrollo de alternativas apropiadas de enseñanza en las que se incluyen capacidades como la de detectar las ideas de los estudiantes y los errores conceptuales. Halim y Subahan (2002) examinan el Conocimiento Pedagógico de Contenido en profesores de ciencias de Malasia acerca de conceptos físicos. Las dos componentes del PCK que se investigaron fueron: 1) conocimiento de las comprensiones de los estudiantes, sus conceptos así como sus errores conceptuales, y 2) el conocimiento sobre las estrategias y representaciones inherentes a la enseñanza de tópicos particulares. Estos componentes son seleccionados señalando que; si bien "... *no hay una conceptualización universalmente aceptada sobre PCK*" (Driel, Verloop, y de Vos, 1998, p. 677 en Halim y Subahan 2002, p 215), se coincide con Driel al tomarlos desde la forma como Shulman los definió a la manera de Componentes del PCK.

Los resultados reportan un aspecto interesante para la formación de los profesores en Malasia: que el PCK de los profesores en formación es muy limitado en el sentido de la promoción de la comprensión de conceptos en los estudiantes. Es decir, que los profesores en formación no han desarrollado la habilidad para transformar sus conocimientos básicos de física aspectos que es necesario para ense-

ñar ciencia en la escuela secundaria. Dado que el propósito de la investigación fue explorar como los profesores en pre-servicio orientaban y estaban atentos a los errores conceptuales los estudiantes así como de generar estrategias de explicación de las ideas científicas a sus estudiantes, lo que se encontró es que estos dos componentes del PCK (a juicio de los investigadores) dependen de otro conocimiento; llamado “el conocimiento de sus propias comprensiones sobre el contenido científico”, es decir, ya que los profesores no manifiestan con propiedad un conocimiento sobre cómo están entendiendo los conceptos físicos, entonces el desarrollo del PCK no va a ser muy notable. De igual forma el estudio revela que hay una relación entre el nivel de conocimiento de contenido (física, ciencias) y la capacidad de los profesores para identificar los errores conceptuales de sus pupilos, de manera que estos profesores no utilizaron apropiadamente estrategias requeridas para explicar las ideas científicas.

En otro estudio Ineke, Van Der Valk, Leite y Thoren, (1999), presentan aspectos que relacionan las dificultades conceptuales sobre calor y temperatura, que los profesores en formación esperan que sus pupilos tengan, con las que ellos mismos tienen o han tenido. Sin embargo, los autores aclaran que su estudio no es sobre PCK estrictamente sino que se inserta en lo que ellos denominan “Conocimiento Práctico de los Profesores en pre-servicio”, en el entendido de que los profesores en formación no han dado el salto efectivo hacia la profesión. Por ello los resultados de la investigación no se comprometen a determinar donde radican las dificultades conceptuales de los profesores en pre-servicio (en el Conocimiento del Contenido o en el PCK), más bien señalan que antes de cualquier tarea de planeación de la enseñanza, los profesores en pre-servicio deben resolver cuestionarios temáticos que den cuenta de su conocimiento de contenido. Uno de los aspectos interesantes de esta investigación consiste en afirmar que el conocimiento de las dificultades como aprendiz, sobre la temperatura y el calor, puede ser un punto de partida para el desarrollo del PCK en los profesores en pre-servicio, por medio del método de preparación

de clases utilizado en la investigación el cual, a juicio de los investigadores, puede ser una herramienta útil para promover esta reflexión.

Discusión

Se han identificado investigaciones sobre el conocimiento didáctico del profesor de física en formación inicial, que abordan como eje fundamental la modelación y procesos de modelación con el enfoque de traducción – transformación del PCK, otros tienen como fundamento una perspectiva evolutiva operacional del PCK, otros una del desarrollo de PCK en el contexto de formación y la caracterización del nivel de PCK de los profesores en formación. Una aproximación interpretativa adicional del estas investigaciones reposa en distinguir cuáles componentes del PCK estos destacan en relación con los contenidos conceptuales de la física. Se encuentra que hay un interés por estudiar el PCK en Termodinámica en relación con las concepciones que tienen los profesores en pre-servicio sobre el conocimiento físico al discutir, por ejemplo, su carácter matemático y abstracto. Se tratan aquí conceptos físicos como calor, temperatura y energía, así como las concepciones micro o macroscópicas. A su vez, se puede distinguir que el principal componente del PCK que los autores (Sperandeo-Mineo, Fazio y Tarantino, 2006; Ineke, Van Der Valk, Leite y Thoren, 1999) distinguen en estos trabajos son:

- 1) el conocimiento acerca de los errores conceptuales de los estudiantes,
- 2) el conocimiento sobre la modelación y
- 3) el conocimiento sobre las formas más apropiadas de asesorar a los estudiantes.

La inclusión de la modelación tiene una estrecha relación con el enfoque de transformación del conocimiento científico. Éste se basa en la distinción de la modelación como estrategia de pensamiento y forma de organizar las explicaciones sobre los fenómenos, que usualmente se entiende asociado a la ciencia. En este sentido se asume que el desarrollo del PCK de profesores en pre-servicio debería favorecer a la modelación (Ogan, 2006) de manera que ésta les permita en su futuro profe-

sional comprender mejor su acción en el aula y, por ende, cualificar la modelación en sus pupilos. La transformación es aquí entendida no solo desde la perspectiva de los contenidos conceptuales de la física, sino que también de las estrategias utilizadas en la ciencia como lo es la modelación. En estas investigaciones también coinciden con las de Veal, Tippins y Bell, (1999) ya que reconocen al PCK en el marco del conocimiento profesional del profesor en pre-servicio, como un conocimiento susceptible de ser desarrollado desde enfoques evolutivos basados en la reflexión sobre experiencias de aula, es decir que van más allá de distinguir un PCK particular de manera que la transformación tenga un enfoque más integral y trascienda la mera traducción del conocimiento científico.

Ahora bien, otro concepto físico de interés encontrado fue el de la gravedad, ya sea desde la perspectiva de la transformación del conocimiento científico o desde la idea de evolución del PCK, en ambos casos el trabajo de Nicholson (1999) distingue como componente del PCK a las actividades educativas de aprendizaje usadas para ayudar a los estudiantes en el aprendizaje de contenidos basado en el criterio de representación. Ésta se constituye en componente esencial a la hora de facilitar las comprensiones de los estudiantes. Desde la perspectiva de la modelación la idea de gravedad también es tratada en los trabajos de Ogan (2006) donde el reconocimiento de un modelo asociado a las fases de la Luna se asume como ejemplo del desarrollo del PCK en los profesores en pre-servicio.

El énfasis que estos trabajos dan a la modelación permitió su categorización desde la mirada de la transformación del conocimiento del contenido así como desde la mirada de la traducción de este conocimiento hacia formas más comprensibles para los estudiantes.

Por otro lado, los trabajos que se agruparon desde un enfoque de evolución del PCK (Veal, Tippins & Bell, 1999, 1999b), aunque también acogen la idea de la traducción, no centran su atención específicamente en este aspecto, sino que plantean la posibilidad de mostrar la evolución del PCK en profesores de pre-servicio, a medida que se investiga. Desde

esta perspectiva se comprende la existencia de un PCK en los futuros profesores y se trata de intervenir como investigadores para dar cuenta de su evolución.

En cuanto a la última categoría de trabajos en donde también se pretende revisar el desarrollo del PCK en profesores de pre-servicio, su agrupación se valida en cuanto a que plantean la posibilidad de hacer este tipo de desarrollos en los espacios académicos de formación inicial del profesorado. Esto los hace diferentes en cuanto a que ponen en juego la idea de cuestionar los currículos de formación de profesores desde la mirada del PCK.

Comentarios Finales

Las investigaciones consultadas evidencian que la caracterización del PCK ha venido evolucionando desde una perspectiva general desde los presupuestos de Shulman hacia una más concreta en lo que respecta a propuestas de mejoramiento, cualificación o desarrollo del conocimiento didáctico de los profesores de física en formación. En este sentido, se aprecia que algunos trabajos asumen un enfoque del PCK como habilidad del profesor para hacer comprensibles los conocimientos físicos a sus estudiantes, esta capacidad del profesor por hacer la transposición didáctica se valora en los procesos de formación y se procura cualificar.

Otro sector de trabajos no hace explícita una perspectiva concreta de PCK pero vislumbra un interés por contemplar algunos aspectos de contexto que de cierta manera propician la reflexión sobre el PCK como un conocimiento y no como una habilidad. Los investigadores proponen que los programas formación de profesores de ciencias se concentren en desarrollar tópicos específicos del PCK en los futuros maestros. Proponen igualmente que las universidades podrían trazar el puente entre los institutos de educación y aquellos institutos de formación en ciencias. Este tipo de vínculos podría ayudar a los futuros profesores a entender cómo el PCK puede ayudarles en los procesos de enseñanza de las ciencias así como en el aprendizaje de sus estudiantes.

De esta manera la investigación diferencia PCK de “Conocimiento del Contenido” y propone alternativas de promoción de ambos tipos de conocimiento desde la perspectiva de la interacción y el diálogo de saberes. No es pues una investigación en marco meramente cognitivo del conocimiento físico de los futuros profesores de física, ya que se aclara que tales investigaciones ponen demasiado énfasis en establecer la serie de conocimientos físicos errados

que los profesores adquieren en su formación, poniendo al PCK en el foco de la investigación en educación. Este aspecto se hace relevante en el contexto de la formación de profesores de física en Colombia ya que pone en discusión de manera tajante la dicotomía entre conocimiento físico *per se* y conocimiento físico *para la enseñanza*, en la que algunos estudiantes de licenciaturas se pueden encontrar.

Referencias

- Benejam, P. (1993) Los contenidos de la Didáctica de las Ciencias Sociales en la formación del profesorado, en Montero, L. y Vez, J.M. (Eds.) *Las Didácticas específicas en la formación del profesorado*. Santiago de Compostela: Tórculo.
- Bolívar, A. (1993) Conocimiento Didáctico del Contenido y Formación del profesorado. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 16(1), pp. 113 – 124.
- Bolívar, A. (2005) Conocimiento Didáctico de Contenido y Didácticas Específicas. *Profesorado. Revista de currículum y formación del profesorado*, 9(2), pp.1-39, recuperado el 17 de agosto de 2010 de <http://www.ugr.es/~recfpro/rev92ART6.pdf>
- Boulter, C., Gilbert, J. (Eds)(2000) *Developing Models in Science Education*, Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, citado en Ogan (2006)
- Cochran, K. y Jones, L. (1998) The Subject Matter Knowledge of Preservice Science Teachers en Fraser, B. and Tobin, K. (eds) *International Handbook of Science Education* (Vol. 2), Dordrecht: Kluwer, pp.707-718
- 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.
- Dykstra Jr, D. (2000) Research on (Non-Teacher Ed) Faculty in Higher Ed. [E-mail digest]. Disponible en : *AERA-K Digest* - 14 Dec 2000 to 15 Dec 2000 (#2000-212)
- Grimmett, P. y MacKinnon, A. (1992) Craft Knowledge and the Education of Teachers. En G. Frant (ed). *Review of Research in education*, 18, pp. 385 – 455.
- Grossman, P. (1989) A Study in Contrast: sources in Pedagogical Content Knowledge for secondary English. *Journal of Teacher Education*, 40, pp. 24-31
- Halim, L. y Subahan, M. (2002) Science Trainee Teachers’ Pedagogical Content Knowledge and its Influence on Physics Teaching. *Research in Science and Technological Education*. 20(2), pp.15-25.
- Harrison, A.; Treagust, D. (2000) A Typology of School Science Models, *International Journal of Science Education*, 22(9), pp. 1011-1026, citado en Ogan (2006)
- Ineke, F.; Van Der Valk, T., Leite, L. y Thoren, I. (1999) “Pre-Service Physics Teachers and Conceptual Difficulties on Temperature and Heat”. *European Journal of Teacher Education*, 22(1), pp. 61-74
- Justi, R. y Gilbert, J. (2002) Models and Modelling in Chemical Education, en Gilbert, J. et al. (Eds) *Chemical Education: Towards Research-based Practice*, pp. 47-68, Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, citado en Ogan (2006)
- Linjse, P.L. (1995) “Developmental Research” As a way to an Empirically Based “Didactical Structure” of Science. *Science Education*, 79(2), pp. 189-199
- Magnusson, S.; Borko, H. y Krajick, J. (1994) Teaching complex subject matter in science; insights from an analysis of pedagogical content knowledge. *Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for research in Science Teaching*, Anaheim, CA.
- Magnusson, S.; Krajick, J. y Borko, H. (1999) Nature, Sources, and Development of Pedagogical Content Knowledge for Science Teaching. En: Gess-Newsome, J. y Lederman, N. (Eds.). *Examining Pedagogical Content Knowledge. The Construct and its Implications for Science Education*. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers. pp. 95-132

- Marcelo, C. (1992) Como Conocen Los Profesores La Materia Que Enseñan. Algunas Contribuciones De La Investigación Sobre Conocimiento Didáctico Del Contenido. *Las Didácticas específicas en la Formación del profesorado*. Santiago de Compostela pp 191-211
- Nicholson P. (2001) Teachers, Turtles, and Gravity. (*Conference Paper in European Logo Conference*) School of Scientific and Developmental Studies in Education. Deakin University.
- Ogan. B. F. (2006) Pre-service Physics Teachers' Knowledge of Models and Perceptions of Modelling. *GI-REP Modelling in Physics and Physics Education Kongres Bildiriler Kitabı*, Amsterdam. ERIC Döküman Numarası: pp. 1068 – 1072
- Ogan. B. F. (2007) Effects of Model-Based Teaching on Pre-Service Physics Teachers' Conceptions of the Moon, Moon Phases, and Other Lunar Phenomena. *International Journal of Science Education*, 29(5), pp.555-593
- Shulman, L. (1986) Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher* (February), pp. 4-14.
- Shulman, L. (1987) *Knowledge and teaching: Foundations of the New Reform*. Harvard Educational Review, 57(1)
- Siegler, R. y Crowley, K. (1991) The microgenetic method: A direct means for studying cognitive development, *American Psychologist*, 46, pp. 606-620.
- Sperandeo-M.; Fazio, C. y Tarantino, G. (2006) Pedagogical Content Knowledge Development and Pre-Service Physics Teacher Education: A Case Study. *Research in Science Education*, 36(3), pp. 235-268
- The Holmes Group (1986) *Tomorrow's Teachers: A Report of the Holmes Group*. Holmes Group, Inc. East Lansing, MI. New York, p.17 en Bolívar, 2005, p.26).
- Veal, W.; Tippins, D. y Bell, J. (1999) The Evolution of Pedagogical Content Knowledge in Prospective Secondary Physics Teachers. (Report Research, 143) Indiana University USA (ERIC Document Reproduction Service No. ED443719)
- Veal, W.; Tippins, D. y Bell, J. (1999b) The TTF Model To Explain PCK in Teacher Development. *Paper presented at the Annual Meeting of the National Association For Research In Science Teaching* (Boston, Ma, March 28 – 31, 1999) Disponible en www.eric.ed.gov/ERICDocs/data/ericdocs2sql/content_storage_01/0000019b/80/16/59/99.pdf en Noviembre 2009 (ERIC Document Reproduction Service No. ED443690)