

CONOCIMIENTO DIDÁCTICO DEL CONTENIDO SOBRE EL PRINCIPIO DE ARQUÍMEDES EN UN PROGRAMA DE FORMACIÓN DE PROFESORES DE FÍSICA EN COLOMBIA

LINA MELO / GIOVANNI CARDONA / FLORENTINA CAÑADA / GUADALUPE MARTÍNEZ

Resumen:

Este estudio muestra la caracterización del conocimiento didáctico del contenido (CDC) sobre el principio de Arquímedes en el contexto de la flotación. La muestra se constituyó por 21 profesores en formación de Física al finalizar la asignatura de Mecánica de fluidos. Como instrumento de medida se utilizó la matriz de representación del contenido (ReCo) para capturar el CDC. Los resultados indican un bajo conocimiento del contenido, la mayoría considera que el empuje depende de la posición del objeto sumergido. Por otro lado, 57% de los futuros profesores de Física optan por un CDC cercano a una tendencia intermedia hacia la enseñanza, 24% describe uno ecléctico y 19% uno centrado en una tendencia tradicional. Finalmente, los modelos del CDC están relacionados con el grado de importancia y confianza que los futuros profesores perciben sobre sus propios conocimientos para la enseñanza del principio de Arquímedes.

Abstract:

This study shows the characterization of pedagogical content knowledge (PCK) regarding Archimedes' Principle in the context of flotation. The sample consisted of 21 pre-service physics teachers upon their completion of a course in fluid mechanics. As a measuring instrument, the content representation matrix (CoRe) was used to capture the PCK. The results indicate low knowledge of content, since most of the participants believe that buoyancy depends on the position of the submerged object. On the other hand, 57% of the future physics teachers opt for PCK that is close to an intermediate tendency in teaching, 24% describe an eclectic PCK, and 19% focus on PCK centered on traditional tendencies. PCK models are related to the degree of importance and confidence that future teachers perceive in their own knowledge for teaching Archimedes' principle.

Palabras clave: formación de profesores, enseñanza de la física, estrategias de enseñanza, estilos de aprendizaje.

Keywords: teacher education, physics teaching, teaching strategies, learning styles.

Lina Melo, Florentina Cañada y Guadalupe Martínez: investigadoras de la Universidad de Extremadura, Facultad de Educación, Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y de las Matemáticas. Avenida de Elvas s/n, 06006, Extremadura, España. CE: lina.viviana.melo@gmail.com

Giovanni Cardona: profesor de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Ciencias y Educación, Licenciatura en Física. Carrera 3, núm. 26 A-40. Bogotá, Colombia.

Introducción

La construcción del conocimiento didáctico del contenido (CDC) es un tema de interés permanente para la investigación sobre la formación del profesorado y ha sido abordado desde diferentes perspectivas teóricas y metodológicas. Comprender el CDC de los docentes nos puede dar información sobre cómo los programas de formación del profesorado satisfacen sus necesidades a lo largo de sus carreras (McNeill, González-Howard, Katsh-Singer, y Loper, 2016), y cuáles son los contextos de formación docente más potentes en la movilización del conocimiento profesional.

El CDC es dinámico con su propia naturaleza, estructura, fuentes, componentes y filtros que lo posibilitan y, sobre todo, legitima a la enseñanza como una profesión (Gess-Newsome, 2015; Garritz, Nieto, Padilla, Reyes y Trinidad, 2008; Melo-Niño, Cañada y Mellado, 2017; Shulman, 2015). Las investigaciones empíricas que han caracterizado la naturaleza y el desarrollo del CDC en ciencias consideran como punto de partida los componentes propuestos por Magnusson, Krajcik y Borko (1999), que han sido las categorías de análisis predilectas en la mayoría de las investigaciones con profesores de ciencias. En este modelo del CDC se reconoce que no solo las fuentes académicas desempeñan un rol central dentro del conocimiento del profesor sino también su saber personal.

En nuestra investigación compartimos algunos elementos del modelo de Park y Oliver (2008), el cual retoma las conceptualizaciones realizadas por Magnusson *et al.* (1999) y considera al CDC como una construcción producto de la reflexión, donde cada profesor transforma e integra distintos conocimientos en un proceso activo y dinámico. Entendemos que la reflexión es fundamental para el proceso de formación y desarrollo profesional del profesor desde lo que declara, diseña y hace en el aula.

Los resultados más significativos respecto han mostrado que la formación y el desarrollo profesional no se realizan en abstracto, sino a través de la mejora del CDC del profesor en su materia concreta, sobre contenidos específicos (Mellado, 1998). Los estudios muestran que los cambios se fomentan cuando el docente desarrolla habilidades metacognitivas que favorecen la reflexión y la autorregulación de los cambios que realiza, en su práctica de aula, sobre su CDC y sobre el aprendizaje de sus alumnos. Sin embargo, la evolución de cada profesor está condicionada por su formación, experiencia y distintos aspectos personales, afectivos y sociales (Garritz y Mellado, 2014; Melo, Cañada y Mellado, 2017).

Atendiendo a estos resultados, el presente estudio muestra la caracterización del CDC sobre el principio de Arquímedes en el contexto de la flotación, como parte de una práctica reflexiva llevada a cabo con 21 futuros profesores de física (FPF) durante el desarrollo de la asignatura de Mecánica de fluidos, que incluye elementos relativos al contenido y su didáctica.

La selección del principio de Arquímedes en el contexto de la flotación parte de un estudio anterior, donde se indagó sobre las dificultades en la comprensión de este contenido en una muestra de 168 sujetos de España y Colombia con diferentes niveles educativos (Melo, Cañada, Martínez y Sánchez, 2016). Los resultados de este trabajo sugieren que tanto profesores como estudiantes intentan recordar la postulación del principio de Arquímedes de forma nemotécnica, sin reparar en un análisis de fuerzas y sin identificar los cuerpos que interactúan, lo que nos permite hablar de la fuerza de empuje (Melo *et al.*, 2016).

El CDC en la enseñanza de la física con profesores en formación

La agenda actual en didáctica de la física ha posicionado al CDC como un marco teórico vigente en la formación del profesorado, teniendo en cuenta las distinciones epistemológicas de los conocimientos-base implicados: *conocimiento de la disciplina, conocimiento psicopedagógico, conocimiento en didáctica de la física y del contexto.*

En los últimos años se ha incrementado el número de investigaciones sobre el CDC para la enseñanza de la física, aunque sigue siendo inferior en comparación con los existentes para la enseñanza de la química, la biología y la tecnología (Fernández y Fernandes de Goes, 2014). A continuación describiremos algunos estudios con profesores de secundaria y bachillerato en formación sobre reconocidos temas en la enseñanza de la física tal como resumimos en la tabla 1. En ella se recogen: *a)* la clase de estudio, *b)* la formación de procedencia, *c)* el nivel educativo en el que se caracteriza el CDC, *d)* el tipo de contenidos de enseñanza considerados, *e)* los instrumentos utilizados para caracterizar o medir el CDC y *f)* las componentes del CDC analizadas.

En relación con la especialidad de los profesores sobre los que se caracteriza el CDC, la mayoría tiene una formación en física, química o matemáticas. Sus conocimientos sobre la pedagogía y la didáctica se centran, por lo general, en los programas de posgrado, aunque son cada vez más los casos en los que los contenidos y la didáctica son vistos como campos integrados.

TABLA 1
Investigaciones sobre el CDC en física con futuros profesores

| Autores | Clase de estudio | Muestra de Formación en física | Nivel educativo | Contenido analizado | Instrumentos para medir o caracterizar el CDC | Componentes del CDC analizadas |
|--|------------------|--------------------------------|-------------------------|--|--|--------------------------------|
| Bektaş (2015) | M | No | Secundaria | Luz y sonido | Cuestionario de preguntas abiertas | CES, CE, CEV |
| Brines, Solaz-Portolés, Sanjosé (2016) | M | Algunos | Secundaria | Pilas galvánicas | Cuestionario de preguntas abiertas adaptado del ReCo (Lourangh <i>et al.</i> , 2004) | OEA, CC, CES, CE, CEV |
| Chini, Straub y Thomas (2015) | D | Sí | Universidad | Gráficas de cinemática | Cuestionario de preguntas abiertas/ Reflexión sobre la acción | Habilidades pedagógicas |
| Yerdelen-Damar, Faruk y Üñal (2015) | D | Sí | Secundaria/Bachillerato | Distintos contenidos del currículo | Entrevista | Conocimiento metacognitivo |
| Etkina, E (2010) | D | Sí | Bachillerato | Distintos contenidos del currículo | Combinación de varios instrumentos (práctica clínica) | OEA, CC, CES, CE, CEV |
| Findlay y Bryce (2012) | D | No | Secundaria | Electricidad | Entrevistas | CF, CP, CCont |
| Kirschner, Borowski, Fischer, Gess-Newsome y von Aufschnaiter (2016) | M | Sí | Secundaria/Bachillerato | Mecánica (fuerza, velocidad, momento, energía) | Test | CE, Ces, CP, CF |
| Nilsson, y Loughran, (2012) | D | No | Secundaria | Flotación y Sonido | ReCo | CC, CES, CE, CEV |
| Nivalainen, Asikainen, Sormunen y Hirvonen (2010) | D | Algunos | Secundaria | Prácticas de laboratorio | Combinación de varios instrumentos | CES, CE |
| Paulick, Grosschedl, Harms y Moeller (2016) | M | Sí | Secundaria | Relatividad | Test | CES, CE, CP, CF, autoconcepto |
| Reyes y Martínez (2013) | D | Sí | Secundaria-Bachillerato | Campo eléctrico | Entrevistas, planificación de clases, reflexión en y sobre la acción. | OEA, CC, CES, CE, CEV |
| Thompson, Christensen y Wittmann (2011) | D | Sí | Secundaria | Circuitos | Combinación de varios instrumentos | CES |
| Zhou, Wang, Zhang (2016) | M | Algunos | Secundaria/Bachillerato | Tercera ley de Newton | Test | CES |

1) Clase de estudio: mide el CDC (M); describe o caracteriza el CDC a partir de estudios cualitativos (D). 2) Componentes del CDC: orientaciones y concepciones sobre la enseñanza de las ciencias (OEA); conocimiento curricular (CC); conocimiento del aprendizaje y las ideas de los estudiantes (CES); las estrategias de enseñanza (CE); y, la evaluación (CEV); conocimiento del contenido en física (CF); conocimiento del contexto (CCont); conocimiento pedagógico (CP).

En la mayoría de los estudios la caracterización del CDC en la enseñanza de la física utiliza la combinación de estrategias y distintas fuentes de captación como: entrevistas, diseño de mapas conceptuales, observaciones de clase, cuestionarios y pruebas de lápiz y papel. Resaltamos el test desarrollado por Kirschner, Borowski, Fischer, Gess-Newsome y von Aufschnaiter (2016) para medir el desarrollo del CDC de profesores de física en formación y en ejercicio. También los instrumentos desarrollados por Loughran, Mullhan y Berry (2004), llamados representación de los contenidos (ReCo) y repertorio de experiencias pedagógicas y profesionales (REPyPs), ampliamente utilizados con profesores de ciencias, y el uso de avatares para simular situaciones cotidianas de clase para desarrollar el CDC (Chini, Straub y Thomas, 2016). Es también punto de referencia el uso de viñetas, en el estudio desarrollado por Veal, Tippins y Bell (1999) en su proceso de caracterización del desarrollo del CDC de dos profesores de física en formación.

Como se aprecia en la tabla 1, la tendencia de los estudios es la descripción de uno o más componentes del CDC, mayoritariamente el conocimiento sobre los estudiantes y las estrategias de enseñanza. Sin embargo, en algunas investigaciones el CDC es descrito como una única categoría (Chini *et al.*, 2016). En otras se incluyen nuevas formas de evaluar el CDC, como el caso de Paulick, Grossschedl, Harms y Moller (2016), al incluir el autoconcepto académico. Además, la mayoría de los trabajos sobre el CDC lo describen o caracterizan a partir de estudios cualitativos, y pocos se encargan de medir su desarrollo, situación que difiere de las investigaciones realizadas con profesores en activo.

Los resultados nos sugieren que para los contenidos relacionados con la mecánica newtoniana existen grandes deficiencias en su conocimiento sobre los estudiantes, lo cual afecta, a su vez, en la selección de las estrategias de enseñanza y los objetivos de aprendizaje (Zhou, Wang y Zhang, 2016). Además, los profesores en formación que predicen las posibles necesidades y dificultades de aprendizaje no las utilizan en los eventuales escenarios de enseñanza que se les plantean durante su proceso de formación. Sin embargo, para contenidos relacionados con la luz y el sonido, como señala Bektas (2016), los futuros profesores tienen información suficiente sobre el conocimiento sobre los estudiantes, pero no sobre las estrategias efectivas para enseñar dichos contenidos y, por lo general, favorecen una enseñanza con tendencia tradicional. Al respecto, Reyes y Martínez (2013)

analizando el CDC sobre el campo eléctrico, concluyen que los futuros profesores consideran que primero se debe transitar por el mundo de la teoría para luego ir a la experimentación, que es la que permite validarla y comprobarla.

Otros resultados relevantes son los reportados por Brines, Solaz-Portolés y Sanjosé (2016), Ogan-Bekiroglu (2009) y Thompson, Christensen y Wittmann (2011). Brines *et al.* (2016) analizan el CDC sobre las pilas galvánicas y comparan el CDC de profesores en ejercicio y en formación, encontrando que son los primeros quienes prefieren metodologías tradicionales y por descubrimiento, mientras que aquellos que están en formación utilizan una mayor variedad metodológica. Ogan-Bekiroglu (2009), que analiza el papel de las actitudes hacia la evaluación como elemento fundamental en la formación del profesorado, muestra que los dos factores que influyen negativamente en las actitudes hacia la evaluación y en su predisposición hacia la acción futura son: las dificultades que los profesores en formación han experimentado sobre la evaluación durante su vida escolar y sus prácticas como futuros docentes y, sus creencias de autoeficacia en cuanto a su capacidad para evaluar a otros. Finalmente, Thompson *et al.* (2011) encuentran que los futuros profesores que han cursado una licenciatura en física identifican en menor cantidad las dificultades de los estudiantes sobre los circuitos eléctricos de aquellos que no son físicos. Por lo tanto, al igual que concluyen Kirschner *et al.* (2016) y Paulick *et al.* (2016), tener un nivel alto del conocimiento del contenido que se enseña y del conocimiento pedagógico no garantiza tener un adecuado CDC.

En términos generales, tal como señalan Etkina (2010), Findlay y Brice (2012) y Thompson *et al.* (2011), el CDC ofrece un marco de referencia para la formación del profesorado de física, refleja lo que sucede en clase y, además, permite identificar las necesidades de desarrollo profesional del profesorado.

Objetivos de la investigación

El objetivo general de esta investigación ha sido caracterizar el conocimiento didáctico del contenido de un grupo de futuros profesores de física en Colombia sobre el principio de Arquímedes. De este modo, se pretende valorar la adecuación de la estructura de los programas de formación del profesorado. El objetivo de investigación, en consecuencia, responde a la

pregunta: ¿cuál es el conocimiento didáctico del contenido de los futuros profesores sobre el principio de Arquímedes?

Metodología

Participantes y contexto del estudio

Los participantes de la investigación fueron 21 estudiantes para profesores de física, 11 hombres y 10 mujeres, inscritos en la asignatura Mecánica de fluidos en el curso 2015-2016, que es parte de las asignaturas obligatorias del segundo año del grado de Formación de profesores de física en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Los participantes han cursado un total de siete asignaturas relacionadas con la enseñanza de la física. Este programa, de cinco años de duración, vincula de forma integral contenidos de física y su didáctica. Las edades de los participantes están comprendidas entre los 20 y 23 años. Su experiencia docente se limita a las incursiones que realizan dentro de su proceso de formación como futuros profesores de física.

La asignatura de Mecánica de fluidos tiene una intensidad de nueve horas a la semana, distribuidas en cuatro horas de trabajo directo, dos de trabajo mediado y tres de trabajo autónomo y su metodología se centra en la resolución de problemas. El objetivo de la asignatura es complementar la formación de los futuros profesores al abordar sistemas que no pueden mantener su forma por sí mismos.

Dentro de los contenidos se encuentran mecánica de los medios continuos, hipótesis del continuo, principio de conservación de la masa, flujo no viscoso y teorema de transporte Reynolds. El trabajo experimental en este espacio académico incluye problemas relacionados con los fluidos en equilibrio, donde se exploran aplicaciones de la ecuación fundamental de la hidrostática, los principios de Arquímedes y Pascal y el cálculo de densidades.

Instrumentos

La recolección de datos se hizo utilizando la matriz diseñada por Loughran, Mullhall y Berry (2004) como representación del contenido (ReCo), con algunas adaptaciones como mostramos en el anexo 1. El propósito general del instrumento ReCo es ayudar a los profesores y permitirles codificar su conocimiento de una forma común. Las preguntas contenidas en el ReCo están elaboradas atendiendo a las componentes del CDC.

El instrumento ReCo es una tabla compuesta por filas y columnas que deben ser relacionadas. En la primera columna se enlistan nueve preguntas que los autores determinan como constantes para obtener la información, estas se derivan de los componentes que Magnusson *et al.* (1999) asigna al CDC; en la primera fila superior se definen las ideas centrales del tópico específico a indagar y deben ser definidas por cada profesor o por consenso. Teniendo presente estudios anteriores (Melo *et al.*, 2017) decidimos explicar de forma breve la intención de cada pregunta, para orientar a los futuros profesores.

Nilsson y van Driel (2010) señalan que la forma en que los futuros profesores perciben su conocimiento sobre la enseñanza de las ciencias en términos de la importancia y significado son un factor crucial en su aprendizaje de la enseñanza de las ciencias. Siguiendo las directrices de Nilsson y Loughran (2012) hemos agregado al diseño del ReCo dos columnas en las cuales los futuros profesores evalúan la importancia y su confianza sobre las respuestas dadas a cada pregunta del ReCo. Estos dos nuevos aspectos (importancia y confianza) fueron valorados utilizando una escala de 1 a 10 (siendo 1= bajo; 10= alto).

Finalmente, el contexto de enseñanza sugerido a los profesores en formación, para cumplimentar el ReCo, fue una clase de bachillerato sin ninguna atención a la diversidad o contexto específico. La actividad formativa en la que se vinculó la actividad del ReCo tuvo como objetivo reflexionar sobre los conocimientos necesarios para la enseñanza de la física y las implicaciones de las decisiones curriculares e instruccionales para el diseño y la implementación de una enseñanza centrada en el estudiante.

Análisis de la información

La sistematización de los datos para el CDC y su análisis se realizó siguiendo las técnicas de análisis de contenido (Fraenkel, Wallen y Hyun, 2012) apoyados por el software Nvivo-10. Se ha relacionado cada pregunta del ReCo con un componente del CDC como mostramos en la tabla 2, siendo las orientaciones sobre la enseñanza de las ciencias la lente que permeó cada una de las preguntas. Suprimimos asignar las ideas centrales y recurrimos a que cada futuro profesor planteara sus propias ideas según sus consideraciones, con la intención de no sesgar las respuestas a cada pregunta.

TABLA 2
Relación preguntas del ReCo y las componentes del CDC según Magnusson et al. (1999)

| ReCo (Loughran et al., 2004) modificado | Componentes del CDC según Magnusson et al. (1999) Categorías de Análisis |
|---|---|
| P1. ¿Por qué es importante para los estudiantes aprender sobre esta idea central o concepto? | A. Orientaciones sobre la enseñanza de las ciencias B. Conocimientos sobre el currículo en ciencias |
| P2. ¿Qué intentas que los estudiantes aprendan con esta idea? | A. Orientaciones sobre la enseñanza de las ciencias B. Conocimientos sobre el currículo en ciencias |
| P3. ¿Qué más sabes sobre esta idea/concepto pero no enseñarás/as a tus estudiantes? | A. Orientaciones sobre la enseñanza de las ciencias B. Conocimientos sobre el currículo en ciencias |
| P4. ¿Cómo has pensado enseñar esa idea?, ¿qué recursos, estrategias o procedimientos empleas para que los estudiantes se motiven y se comprometan con esta idea o concepto? ¿Por qué has seleccionado estas estrategias y no otras? | A. Orientaciones sobre la enseñanza de las ciencias D. Conocimiento sobre las estrategias de enseñanza |
| P5. ¿Qué cosas vas a tener en cuenta para la enseñanza de esta idea?, ¿qué otros factores influyen en la enseñanza de esta idea? | A. Orientaciones sobre la enseñanza de las ciencias C. Conocimiento sobre los estudiantes D. Conocimiento sobre las estrategias de enseñanza |
| P6. ¿Cuáles son los beneficios, dificultades y limitaciones conectadas a la enseñanza de esta idea? | A. Orientaciones sobre la enseñanza de las ciencias C. Conocimiento sobre los estudiantes D. Conocimiento sobre las estrategias de enseñanza E. Conocimiento sobre la evaluación |
| P7. ¿Qué conocimientos acerca de los problemas conceptuales, procedimentales y actitudinales de los estudiantes, influyen en la enseñanza de esta idea o concepto? | A. Orientaciones sobre la enseñanza de las ciencias C. Conocimiento sobre los estudiantes |
| P8. ¿Cómo has pensado evaluar esta idea? | A. Orientaciones sobre la enseñanza de las ciencias C. Conocimiento sobre los estudiantes E. Conocimientos sobre la evaluación en ciencias |

Para desarrollar el esquema de codificación se tomó como base el modelo de Magnusson *et al.* (1999). Las categorías consideradas están descritas ampliamente el anexo 2: *a)* orientaciones sobre la enseñanza de las ciencias, *b)* conocimiento del currículo, *c)* conocimiento sobre los estudiantes,

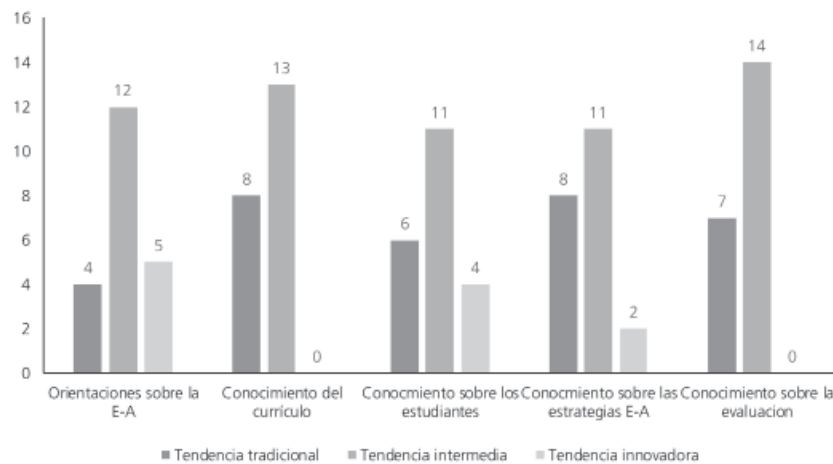
d) conocimiento sobre las estrategias de enseñanza y *e)* conocimiento sobre la evaluación. Para la descripción de las categorías se consideraron las pruebas suministradas de la información analizada y las descripciones dadas a estos aspectos desde los modelos de enseñanza en didáctica de las ciencias experimentales (Melo *et al.*, 2017; Schneider y Plasman, 2011). Estas categorías fueron agrupadas en dos tendencias opuestas y una intermedia: la tradicional centrada en el profesor, y la innovadora o centrada en los estudiantes como se evidencia en el anexo 2.

Resultados

En la figura 1 se presenta un resumen de las tendencias dominantes para cada categoría del CDC de los futuros profesores. Prevalece la categoría intermedia seguida de la tendencia tradicional, y solo para las orientaciones sobre la enseñanza de las ciencias, el conocimiento sobre los estudiantes y respecto de las estrategias de enseñanza algunos profesores describen situaciones relacionadas con la tendencia innovadora.

FIGURA 1

Tendencias del CDC sobre el principio de Arquímedes descrita por los 21 futuros profesores



Estos resultados nos llevaron a identificar tres tipos de CDC sobre el principio de Arquímedes a partir de las tendencias predominantes para cada componente:

- a) modelo del CDC cercano a una tendencia tradicional de enseñanza cuando, al menos, cuatro de las categorías que describen el CDC fueron referidas por la tendencia tradicional (n=4; 19%);
- b) modelo del CDC cercano a una tendencia intermedia cuando, al menos, cuatro de las categorías que describen el CDC fueron detalladas por la tendencia intermedia (n=12; 57%) y,
- c) modelo del CDC ecléctico cuando, al menos, dos categorías del CDC son descritas por la misma tendencia (n=5; 24%).

Modelo del CDC cercano a una tendencia tradicional de enseñanza

Se han encontrado cuatro futuros profesores de física (FPF) que suscriben este modelo de CDC. En los FPF 2 y 9, en todas las categorías analizadas, predomina la tendencia tradicional. Los FPF 1 y 21 muestran un conocimiento más desarrollado sobre los estudiantes al señalar dificultades específicas del contenido, aportando algunas explicaciones sobre su naturaleza y reconocimiento del papel de las ideas previas.

En el CDC centrado en una tendencia tradicional refleja una combinación de puntos de vista instrumentalista y positivista de la física sobre las metas y objetivos en el currículo. Los futuros profesores consideran que la construcción del principio de Arquímedes en el aula se da fundamentalmente por la observación directa de la realidad y la experimentación después de la explicación del profesor, con lo cual el experimento se convierte en fuente de validación de la teoría. Además, el contenido se enseña por su vinculación constante en las diferentes etapas escolares y porque es un buen ejemplo de contenidos que sirven para alfabetizar o culturizar científicamente a los estudiantes, y “demostrar que la física está al alcance de nuestras manos”.

Por otro lado, la articulación del conocimiento científico con el contexto histórico es a través de la anécdota. Los futuros profesores insisten en contar el suceso de Arquímedes y la corona de Hierón para ambientar la introducción del tema y motivar al alumnado. A continuación proponen la realización de la experiencia de sumergir sólidos en agua. Sin embargo, no todos los futuros profesores comparten la misma idea sobre el contenido tanto del principio de Arquímedes como del de la historia de Arquímedes y la corona.

De forma particular, los futuros profesores FPF 1 y 21 consideran que el principio de Arquímedes permite comprender el concepto de densidad.

Mientras que FPF 2 y 9 indican que dicho principio provee herramientas para comprender los fenómenos de flotar y hundirse centrados en la idea de fuerza. FPF 2 y FPF 9 definen la fuerza de empuje a través del peso aparente. De forma particular, FPF 2 menciona la diferencia de presión como causa del empuje, aunque este hecho solo hace parte de los conocimientos que el futuro profesor conoce sobre el tema pero, posiblemente, no llevará al aula. Sin embargo, la mayoría de los ejemplos que proponen los futuros profesores a los estudiantes solo consideran situaciones de sólidos en reposo inmersos en líquido.

Además de las descripciones anteriores, el conocimiento curricular en esta tendencia se caracteriza por la utilización de hechos de la vida cotidiana, todos relacionados con la flotación de sólidos en líquidos, el ejemplo más nombrado es la flotación de los barcos. La secuencia de los contenidos es la presente en los libros de texto de secundaria (Melo *et al.*, 2017). De forma genérica los futuros profesores presentan primero la definición de presión en términos de fuerza (presión en los sólidos) y luego se vincula la relación entre gravedad, profundidad, altura y densidad. Luego describen el principio de Arquímedes como el que permite justificar el estado de flotación de los cuerpos con diversas densidades o a través del empuje.

En cuanto a las estrategias de enseñanza, los futuros profesores son quienes aportan la mayor parte de la información a través de explicaciones y preguntas, bien sea por clases expositivas o la experiencia de laboratorio. FPF 1 y 21 seleccionan la práctica de sumergir sólidos regulares e irregulares en líquidos y hallar la densidad del sólido o de un líquido problema, mientras FPF 2 y 9 optan por centrarse en la lectura de un dinamómetro cuando distintos cuerpos que penden de él son sumergidos dentro y fuera del agua. FPF 21, además, plantea una analogía para comprender el concepto de densidad en sólidos y luego señala que dicha analogía se puede utilizar para los líquidos:

La analogía de la *bola de icopor* (esfera de poliestileno expandido) y la bola de bolos es muy funcional ya que el estudiante interpreta que la bola de bolos tiene sus moléculas (pedacitos de materia) muy unidas y muy fuertemente enlazadas mientras que en la de *icopor* se pueden evidenciar espacios, sus moléculas se separan fácilmente y además se pueden comprimir, a partir de esta comparación

cotidiana y fácil de entender se pueden establecer otras comparaciones con otros materiales y basarse en esta imagen mental para interpretar de igual forma la densidad de los fluidos. FPF-21.

Consecuentemente con esta tendencia del CDC, los futuros profesores se preocupan poco por conocer las concepciones alternativas de sus estudiantes, asumen que “el contenido se asimilará mejor en tanto realicen prácticas de laboratorio y se les presente ejemplos conocidos”. Según esta visión, el estudiante construirá su conocimiento escolar basándose exclusivamente en la interpretación del conocimiento que se le presenta en el aula.

Por último, los futuros profesores consideran que la finalidad de la evaluación es comprobar el grado de apropiación de los conceptos, utilizando como criterio la facilidad que tiene el estudiante para resolver ejercicios similares a los propuestos en clase. Esta finalidad puede ser aplicada a cualquier contenido de enseñanza, por tanto, consideramos que es la categoría más fragmentada y menos desarrollada.

Modelo del CDC cercano a una tendencia intermedia de enseñanza

Los futuros profesores que suscriben este modelo son once de CDC. En los FPF 7, 13, 18 y 19, en todas las categorías analizadas, predomina la tendencia intermedia. FPF 8 reporta un conocimiento más tradicional sobre el conocimiento sobre los estudiantes, el 4 y 12 sobre el currículo, FPF 14 y 16 respecto de las estrategias de enseñanza y el 17 sobre la evaluación. En cambio, FPF 5 y 20 reportan un conocimiento más innovador acerca del conocimiento sobre los estudiantes.

A continuación describiremos las características del CDC centrado en una tendencia intermedia, a pesar de los rasgos propios de cada futuro profesor.

En este CDC las metas y objetivos en el currículo y las estrategias de enseñanza con respecto al principio de Arquímedes se centran en acciones donde es el estudiante quien por sí solo descubre a través del contacto y la observación directa con la realidad. Sin embargo, todas las ideas y explicaciones formuladas son orientadas a un único modelo en el cual el principio de Arquímedes es utilizado para introducir la fuerza de empuje, la cual explica el hecho experiencial que relata la “aparente pérdida de peso” cuando se sumergen en agua los sólidos, tal como se presenta en los libros de texto (Melo *et al.*, 2016). Todos los futuros profesores afirman

que el empuje es una fuerza hacia arriba; FPF-5, 17 y 20 aclaran que es vertical, reforzando la idea alternativa de la dirección y el sentido del empuje, FPF-8 y 20 insisten en indicar que la magnitud es igual al volumen del líquido desalojado. Además, FPF 20 señala su propia interpretación del principio indicando que el empuje es una fuerza de reacción a la acción de la gravedad como señalamos a continuación:

De lo anterior se deduce que los fluidos siempre experimentarán una fuerza de reacción opuesta a la acción de la gravedad sobre el cuerpo dentro de un fluido en equilibrio; una fuerza que trate de impedir que el objeto se hunda denominada Empuje. FPF-20.

En todos los casos, los futuros profesores no indican las causas de esta fuerza (Buteler y Colenu, 2014). Señalan, además, que este modelo es de uso exclusivo para secundaria y bachillerato, reconocen que en primaria la flotación debe ser tratada a través de la caracterización de la densidad.

Entre las metas y objetivos está la formulación de hipótesis y su comprobación sobre la flotación, la determinación de volúmenes irregulares, de la fuerza de empuje y el desarrollo de la autonomía frente al aprendizaje.

Todos los futuros profesores coinciden en partir de situaciones problema o preguntas abiertas sobre la flotación de los sólidos en líquidos, entre ellas por qué flotan los barcos, cómo funcionan los submarinos, y su relación con las vivencias cotidianas de los estudiantes. En todos los casos se plantean situaciones que son la mezcla de lo cotidiano y lo científico y se realiza un mayor énfasis en las variables vinculadas al cuerpo que se sumerge (peso, masa, densidad, volumen). La selección de estas situaciones se da por el recuerdo de las experiencias que han experimentado como estudiantes y en el caso de FPF 20 por sus prácticas docentes. Algunas de las experiencias son:

Colocar un vaso de agua sobre una balanza y anotar la medida. A continuación se introduce un dedo en el vaso sumergiéndolo en el agua sin tocar las paredes y tomar la lectura de la balanza. En todos los casos es necesario pedir a los estudiantes contrastar las hipótesis con lo realizado en el laboratorio. Pediría que sacaran conclusiones. FPF 13.

Como otra posible alternativa, se podría plantear una situación más directa donde esté un barco sumergido en agua salada y preguntar, ¿por qué no se hunde? En la que basados en sus conocimientos previos y su realidad postulen hipótesis sobre lo visto o mentalmente creado. Luego los estudiantes propondrán una experiencia a partir de la discusión. Después generalizarán el procedimiento realizado y se espera que establezcan formalmente el postulado del principio de Arquímedes. FPF 20.

Aunque consideran al alumnado copartícipe del proceso de aprendizaje, se plantea una visión del mismo como autodidacta. De forma genérica consideran que las destrezas, actitudes y capacidades de cada individuo hacen la diferencia entre aprender y entender. Además consideran que el fin último de la física es comprender las formas en que se comporta la naturaleza, y en el caso del principio de Arquímedes es llegar a una explicación más “científica” de la situación. De manera particular, FPF 20 considera que las experiencias previas de los estudiantes son generadoras de hipótesis.

Los futuros profesores identifican algunas dificultades de aprendizaje concretas respecto del principio de Arquímedes. La mayor frecuencia recae en razones externas al profesor, como son las características del contenido, las ideas que prevalecen después de la instrucción, la disponibilidad del material de laboratorio, las estrategias cognitivas utilizadas por los estudiantes durante la realización de distintas tareas, como la medición de variables en el laboratorio o las estrategias utilizadas en la resolución de los problemas y, tal como señala FPF 5, el poco interés e iniciativa de los estudiantes por indagar sobre lo que se les propone en clase.

En la tabla 3 se relacionan las ideas alternativas identificadas por los futuros profesores, cuya naturaleza es el aprendizaje no significativo o insuficiente, la permanencia de concepciones alternativas después de la instrucción y la complejidad propia del contenido. Algunas de las ideas alternativas encontradas han sido ampliamente identificadas en la literatura: *a)* la fuerza de empuje depende de las características o propiedades del cuerpo que se sumerge; *b)* la fuerza de empuje se relaciona solo con el líquido donde se sumergen los cuerpos; y *c)* las ideas heredadas sobre la fuerza influyen en la representación del empuje. Sin embargo, los futuros profesores hacen escasa referencia a la literatura sobre la enseñanza del principio de Arquímedes.

TABLA 3
Ideas alternativas identificadas por los futuros profesores sobre el principio de Arquímedes

| Naturaleza de la dificultad | Dificultad | Idea alternativa identificada |
|---|--|--|
| Aprendizaje no significativo o insuficiente, permanencia de concepciones alternativas después de la instrucción | La fuerza de empuje depende de las características o propiedades del cuerpo que se sumerge (peso, masa, densidad, volumen, área, empuje) | No hay relación consistente entre masa, volumen, densidad, gravedad y la fuerza de empuje (Loverude, Kautz y Heron, 2003). FPF-5; FPF-7; FPF-16; FPF-19; FPF-20 Se confunde masa con peso. FPF-5, FPF-16 Se confunde masa con densidad. FPF-7; FPF-8; FPF-16, FPF-19 |
| | La fuerza de empuje se relaciona solo con el líquido donde se sumergen los cuerpos | Idea de fluido estático y la identificación de los estados de la materia. FPF-5; FPF-19 |
| | Ideas heredadas sobre la fuerza influyen en la representación del empuje | Crear que el empuje es la misma fuerza normal. FPF-5 Suponer que la fuerza de gravedad disminuye por estar dentro del fluido. FPF-7 |
| Complejidad propia del contenido | Concepto de flotación es en sí mismo problemático | El concepto de flotación necesita ser ampliado para comprender o vincular el empuje y la densidad (Blanco, 2010). FPF-18 |
| | La fuerza de empuje depende de las características del cuerpo que se sumerge (peso, masa, densidad, volumen, área, empuje) | El peso de un cuerpo determina el empuje que hace el <i>líquido</i> sobre este (Loverude, Kautz y Heron, 2003; García-Carmona, 2009, Blanco, 2010). FPF-13 |

Finalmente, en lo relativo a la evaluación, esta se centra en indagar acerca de lo visto en clase, una descripción similar a la tendencia anterior. Los productos del proceso de observación, elaboración de hipótesis, contraste y conclusión que el propio alumnado desarrolla durante el transcurso de la clase son los instrumentos de evaluación y definen, a su vez, los momentos evaluativos que programan los futuros profesores. Los instrumentos no difieren tampoco de los utilizados en la tendencia tradicional. A pesar de la estrategia de enseñanza seguida, la evaluación sigue siendo sumativa aunque continua. FPF 17, de forma particular, asume que una evaluación que reta y desafía al alumnado lo incentiva a aprender más, ya que los motiva a incrementar sus esfuerzos en la preparación de las evaluaciones.

Modelos del CDC ecléctico

En este modelo hemos ubicado los casos donde dos o más categorías están descritas por tendencias diferentes. Todos los profesores vinculados a este modelo del CDC describen una orientación hacia la enseñanza de las ciencias cercana a una tendencia innovadora.

Esta tendencia dispone condiciones relacionadas con un realismo simplificado, donde la física, como toda ciencia, es un saber humano, una interpretación de la realidad, un conocimiento al que cualquiera que se lo proponga puede acceder y cuyas problemáticas y metodologías de solución de problemas dependen del sujeto que interviene la realidad. La matemática es considerada un lenguaje que se resignifica a causa del propio conocimiento que se construye en la física. Los seguidores de esta tendencia sugieren que la física es algo que cambia, contextualizada y poco acumulativa. Insisten en involucrar la historia y la epistemología de las ciencias debido a su formación universitaria, pero sus descripciones son generales y no centradas en el principio de Arquímedes.

Como objetivo general de la enseñanza de la física, los futuros profesores expresan su intención de proponer ejercicios y situaciones problema en contextos que les permitan retratar los conocimientos de los estudiantes y que sostengan una gran relación con la cotidianidad, más que una mera aplicación de un simple algoritmo. Esto se traduce en las implementaciones de experiencias y ejemplos, cuya intención es la de despertar interés e indagar sobre el mundo. Sus intenciones se centran también en lograr que sus estudiantes construyan explicaciones y sean conscientes del proceso implicado en la elaboración de dicha explicación. Sin embargo los indicadores que dan cuenta de los aprendizajes de los estudiantes no son explicitados. Finalmente, FPF 6 y 15 consideran que “la motivación no debe ser sinónimo de simplificación”. Es decir, se debe enseñar la física con un grado de formalización acorde al grupo de estudiantes.

A pesar de compartir orientaciones similares hacia la enseñanza de las ciencias, luego no se traducen en proposiciones que den cuenta de la tendencia innovadora para el resto de categorías del CDC cuando se profundiza en la enseñanza del principio de Arquímedes.

Los futuros profesores 3, 10 y 11 declaran un conocimiento tradicional sobre los estudiantes y las estrategias de enseñanza; y una tendencia intermedia para el conocimiento sobre el currículo y la evaluación. Por otro lado, FPF 6 y 15 presentan declaraciones relacionadas con una tendencia

tradicional para el currículo y la evaluación; y una más innovadora respecto de su conocimiento sobre los estudiantes y las estrategias de enseñanza.

Las diferencias en las caracterizaciones sobre cada componente del CDC demuestran el papel fundamental del contenido, su carácter idiosincrásico y la necesidad de programas de formación que le permitan al futuro profesor valorar sus teorías implícitas y las dinámicas de configuración de su CDC para contenidos específicos. Por otro lado, los anteriores modelos reflejan las construcciones que los futuros profesores realizan sobre los enfoques de enseñanza de la física a partir de su formación.

Evaluación del diseño del ReCo

En este apartado presentaremos los resultados de la media de las puntuaciones que los futuros profesores asignaron sobre el grado de confianza al responder a cada pregunta del ReCo, la cual da acceso a una medida de su percepción sobre el desarrollo de su CDC. Del mismo modo, las medidas de importancia nos dan información sobre la percepción de los futuros profesores de la utilidad de aspectos específicos del ReCo y, por lo tanto, de los componentes del CDC. Sus respuestas fueron organizadas en función del modelo de conocimiento didáctico del contenido como se muestra en la tabla 4.

TABLA 4

Autoevaluación de la importancia y confianza del ReCo sobre el principio de Arquímedes para los futuros profesores

| ReCo | Modelo del cdc cercano a una tendencia tradicional de enseñanza (N=4) | | Modelo del cdc cercano a una tendencia intermedia de enseñanza (N=12) | | Modelo del cdc ecléctico (N=5) | |
|------|---|--------------------------------------|---|--------------------------------------|--|--------------------------------------|
| | Importancia media (1 bajo, 10 alto) | Confianza media (1 bajo, 10 alto) | Importancia media (1 bajo, 10 alto) | Confianza media (1 bajo, 10 alto) | Importancia media (1 bajo, 10 alto) | Confianza media (1 bajo, 10 alto) |
| P1 | 9.5 | 9.5 | 9.6 | 9.4 | 8.3 | 7.0 |
| P2 | 10.0 | 7.0 | 10.0 | 9.6 | 8.8 | 6.9 |
| P3 | 9.5 | 9.5 | 8.6 | 9.0 | 8.3 | 6.8 |
| P4 | 10.0 | 7.0 | 9.6 | 9.4 | 8.1 | 7.3 |
| P5 | 9.5 | 9.5 | 8.6 | 9.2 | 8.3 | 6.6 |
| P6 | 7.0 | 9.0 | 8.7 | 9.0 | 8.6 | 6.8 |
| P7 | 7.5 | 9.0 | 9.6 | 9.4 | 8.4 | 7.3 |
| P8 | 9.8 | 7.0 | 6.4 | 9.0 | 8.0 | 6.3 |

Para los futuros profesores cuyo modelo del CDC es cercano a una tendencia tradicional de enseñanza, la mayoría de las preguntas del ReCo son importantes. Sin embargo asignan solo una puntuación de 10 a las preguntas 2 y 4, relacionadas con el conocimiento curricular y sobre las estrategias de enseñanza, y de 9.8 a la pregunta 8, relacionada con el conocimiento sobre la evaluación. Es decir, los futuros profesores cuyo CDC se suscribe en el modelo tradicional hacia la enseñanza de las ciencias consideran fundamental que el profesor reconozca qué y cómo enseñar y evaluar el principio de Arquímedes. No obstante, la puntuación dada al grado de confianza en la respuesta a estas preguntas (media=7.0) evidencia su percepción de poco desarrollo en estos aspectos del CDC. Otras cuestiones de interés son los puntajes, bajos en cuanto a la importancia (media=7.0) y altos en cuanto a la confianza (media=9.0), asignados a las preguntas 6 y 7, relacionadas con el conocimiento sobre los estudiantes y muy coherente con el modelo del CDC. Consideramos que podría ser el desarrollo en este aspecto el desencadenante de cambios en el modelo general del conocimiento didáctico del conocimiento.

Los futuros profesores cuyo modelo del CDC es cercano a una tendencia intermedia de enseñanza asignan a todas las preguntas un grado de confianza alto (media>9.0). Por otro lado, solo consideran como aspectos importantes del CDC el conocimiento sobre el currículo, las estrategias de enseñanza y los estudiantes, relacionados respectivamente con las preguntas 1, 2, 4 y 7 del ReCo; y asignan una media de 6.4 a la pregunta 8 asociada con el conocimiento sobre la evaluación. El resto de preguntas consideran que reiteran en los aspectos del CDC, que ya consideran importantes, por lo que asignan puntajes entre 8 y 9.

Finalmente, los futuros profesores cuyo modelo del CDC es ecléctico reportan medias hacia la importancia del ReCo y su grado de confianza hacia sus respuestas más bajas que el resto de futuros profesores. Lo cual indica que, aunque consideran igualmente importante todas las componentes del CDC, no se sienten seguros sobre los conocimientos que poseen para enseñar el principio de Arquímedes.

Discusión y conclusión

De los resultados del estudio concluimos que el CDC inicial de los futuros profesores participantes sobre el principio de Arquímedes puede describirse a partir de tres modelos cualitativamente diferentes, lo cual demuestra el

carácter idiosincrásico del CDC. Estos modelos dependen del reconocimiento que los futuros profesores realizan sobre las dificultades de aprendizaje, las características que otorgan al contenido y, principalmente, del grado de coherencia entre las orientaciones hacia la enseñanza de las ciencias y el resto de componentes del CDC.

La aparición del modelo del CDC ecléctico, es una evidencia de cómo el desarrollo del CDC no es siempre en la misma dirección, ya sea de la tendencia tradicional a los innovadores o viceversa. Nosotros consideramos que este modelo es un estado “intermedio” por el que el futuro profesor transita antes de posicionarse sobre un modelo de enseñanza de las ciencias particular, y es una clara evidencia de los procesos de transformación e integración que permiten que el CDC emerja (Magnuson *et al.*, 1999).

Park y Chen (2012) y Hashweh (2005) ya señalaban que las construcciones del CDC están influidas en gran medida por la interacción de sus componentes. Aydin, Demirdogen, Nur Akin, Uzuntiryaki-Kondakci y Tarkin (2015) señalan cómo las relaciones entre las componentes del CDC de los futuros profesores suelen ser fragmentadas y muestran cómo a través del *practicum* pueden llegar a ser más coherentes.

Por otro lado, los resultados también nos sugieren que un determinado modelo del CDC condiciona el tipo de conocimientos que los futuros profesores consideran necesarios para la enseñanza de un tema, en este caso el principio de Arquímedes, y el nivel de confianza hacia dichos conocimientos. Este último aspecto está relacionado con las creencias de autoeficacia de los futuros profesores hacia la enseñanza y el aprendizaje del principio de Arquímedes, señalado por Adadan y Oner (2014), Kind (2009) y Park y Oliver (2008) como un ingrediente esencial para el desarrollo del CDC, llamado por Gess-Newsome (2015) amplificadores o filtros dentro de los modelos actuales para el conocimiento profesional del profesor de ciencias.

Otro elemento a tener en cuenta, el cual ha sido recurrente en otras investigaciones (Melo-Niño *et al.*, 2017, Melo *et al.*, 2017) con profesores de física en ejercicio, es la falta de desarrollo del componente del conocimiento sobre la evaluación. En nuestros casos la falta de desarrollo se debe a la percepción de los profesores sobre lo que pueden realizar en el aula y a una falta de integración con el resto de componentes del CDC.

Otro elemento de interés en nuestro estudio es la utilización del instrumento ReCo como medio para captar el CDC de los profesores de física. El modo en que los participantes respondieron a las indicaciones y

la manera en que evaluaron la naturaleza de esas respuestas, ofrece ideas sobre la forma del CDC y cómo podría evolucionar su aprendizaje sobre la enseñanza de las ciencias. Sin embargo, como muestran Nilsson y Lughran (2012) y Hume y Berry (2010), entre otros, para que el diseño del ReCo proporcione verdaderas herramientas para evaluar los diferentes enfoques sobre la enseñanza de un contenido, se requiere de acciones donde el futuro profesor pueda desarrollar habilidades metacognitivas que favorecen la reflexión y la autorregulación sobre lo que declara, diseña y hará en el aula.

Finalmente, y en concordancia con Osborne (2014), consideramos que en el caso de la enseñanza de la física muchas investigaciones sobre el CDC se han centrado en contenidos específicos y pocos en prácticas científicas, lo cual puede abrir nuevas líneas de investigación. También es necesario relacionar el CDC de los profesores y el aprendizaje de los estudiantes, generar nuevos instrumentos para medir el conocimiento didáctico, indagar más sobre los procesos de desarrollo del CDC y analizar la categoría de filtros y amplificadores como son las emociones, las creencias de autoeficacia y el conocimiento del contexto.

Anexos

ANEXO 1

Matriz de Representación del Contenido (ReCo)

¡Eureka, Eureka!,

¿Cómo, Cuándo, Para qué, Por qué enseñar el principio de Arquímedes?

Estimado(a) Futuro(a) Profesor (a):

Gracias por el acompañamiento y tiempo que le dedicarás a la elaboración de este instrumento, sin tu ayuda no es posible llevar a cabo esta investigación. El cuadro que te presento, contiene columnas y filas. En las columnas sugiere las ideas, aparte de un modelo o contenidos que consideras importantes a la hora de enseñar el Principio de Arquímedes. La secuencia de las ideas colocadas en el cuadro no corresponde necesariamente a las que se utilizarían de manera predominante en la enseñanza de este tópico, solo son una guía. Puedes agregar la cantidad de columnas que consideres necesarias. Las filas contienen una serie de preguntas que orientan el desarrollo de cada una de las ideas de las columnas. Relaciona las columnas y las filas correspondientes. Hay celdas que puedes dejar en blanco. No coloques signos o marcas, solo palabras. Recuerda que esto no es un test, no hay respuestas mejores o peores, verdaderas o falsas. No requieres de ningún recurso o fuente de información extra, en caso de utilizarlo señálalo al final. Recuerda que el cuadro es solo una guía, puedes modificarlo, o reestructurarlo de acuerdo a lo que desees, tanto así que puedes agregar o sugerir lo que necesites y te ayude a pensar en la enseñanza principio de Arquímedes.

(CONTINÚA)

| <i>¿Cuáles consideras que son las ideas, conceptos, y/o problemáticas fundamentales sobre las que deben articularse la enseñanza del principio de Arquímedes? ¿Qué tipo de relaciones deben mantener dichas ideas?,</i> | | | | En una escala de 1 a 10 donde 1 es poco y 10 mucho, | |
|---|---------|---------|-----------|---|---|
| Coloca tantas columnas como consideres necesarias | Idea 1: | Idea 2: | Idea ...: | <i>¿Qué tan significativa o importante es esta pregunta para ti cuando piensas en la enseñanza del principio de Arquímedes?</i> | <i>¿Qué tan seguro(a)/confiado (a) te sientes frente a la respuesta dada a esta pregunta?</i> |
| Para reflexionar | | | | | |
| 1. ¿Por qué es importante que los estudiantes aprendan esta idea o concepto? | | | | | |
| 2. ¿Qué intentas que los estudiantes aprendan sobre esta idea o concepto? (No pienses solo en términos de contenidos conceptuales, vincula actitudes, habilidades, procedimientos, etc...) | | | | | |
| 3. ¿Qué conocimientos tienes sobre esta idea o concepto? (Considera la historia, la epistemología y filosofía de este concepto, incluye lo que sabes pero no enseñarías) | | | | | |
| 4. ¿Cómo has pensado enseñar esa idea?, ¿qué recursos, estrategias o procedimientos empleas para que los estudiantes se motiven y se comprometan con esta idea o concepto? ¿Por qué has seleccionado estas estrategias y no otras? (Considera detenidamente las actividades, procedimientos, recursos, analogías, metáforas, ejemplos, simulaciones, etc., que quieres implementar y la función que cumplen. Menciona además brevemente, lo que has pensado contarles a tus estudiantes sobre esta idea y los énfasis que realizarás o realizas) | | | | | |
| 5. Alrededor del conocimiento que tienes sobre tu experiencia profesional, conocimiento de los lineamientos curriculares, tus experiencias universitarias y tus estudiantes, ¿qué vas a tener en cuenta para la enseñanza de esta idea?, ¿qué otros factores influyen en la enseñanza de esta idea? | | | | | |
| 6. ¿Cuáles son los beneficios, dificultades y limitaciones conectadas a la enseñanza de esta idea? | | | | | |
| 7. ¿Qué conocimientos acerca de los problemas conceptuales, procedimentales y actitudinales de los estudiantes, influyen en la enseñanza de esta idea o concepto? | | | | | |
| 8. ¿Cómo has pensado evaluar esta idea? (Instrumentos que vas a usar, técnicas que vas a implementar, preguntas que te gustaría o vas a implementar) | | | | | |

Otras reflexiones personales que no se hayan reflejado en el cuadro anterior: _____

ANEXO 2

Sistema de categorías para analizar el CDC

| Cat. | Subcategorías | Tendencia tradicional | Tendencia intermedia | Tendencia innovadora |
|---|--|--|--|---|
| A. Orientaciones sobre la enseñanza de las ciencias | A1. Idea de física | La física es más que matemática aplicada. Sin embargo, la experimentación es la fuente del conocimiento | La física es una interpretación del mundo por modelos | Es otra forma de conocimiento |
| | A2. Idea de aprendizaje | Centrado en la explicación y en facilitar actividades para promover el aprendizaje | Centrado en una mezcla entre el proceso de descubrir por parte del estudiante y las explicaciones del profesor | Centrada en la discusión y resolución de problemas |
| | A3. Idea de enseñanza, metas y objetivos | Asimilación a través de la observación y transmisión, de conceptos. Se busca alfabetizar científicamente a la sociedad | Desarrollo de habilidades curriculares | Construcción de explicaciones, a través de la reflexión y el diálogo profesor/alumno |
| B. Conocimiento sobre el currículo | B1. Objetivos de aprendizaje | Conceptuales y procedimentales cuyo fin es resolver y predecir una situación planteada utilizando algoritmos y definiciones | Conceptuales y procedimentales cuyo fin es potenciar las observaciones cualitativas, y la detección de regularidades | Los objetivos son conceptuales, procedimentales y actitudinales, son alcanzables y están en consonancia con los contenidos, las actividades y la evaluación propuesta |
| | B2. Secuencia de los contenidos | Versión actualizada y simplificada del conocimiento científico | Existe una relación con otros sujetos y contextos, pero manteniendo una planificación rígida | Integración de lo académico con la contextual |
| | B3. Fuentes y recursos | Las fuentes utilizadas complementan la información del libro de texto, y los recursos como herramientas neutras y pasivas | Se utilizan varias fuentes y recursos. Amplían el campo de la experiencia del estudiante y facilita la aplicación, verificación y elaboración de explicaciones | Integración entre diversas fuentes y recursos, algunas veces resultado del consenso profesor-estudiante |
| C. Conocimiento sobre los estudiantes | C1. Naturaleza de las ideas de los estudiantes | Las ideas de los estudiantes son errores que no se deben considerar | El profesor debe reconocer las ideas o conocimientos previos del alumno, porque son una fuente de motivación | Los procesos de mediación entre el conocimiento científico, escolar y cotidiano son fundamentales en el proceso de aprendizaje |
| | C2. Dificultades de aprendizaje | Se deben a un problema de falta de comprensión | Se predicen e identifican las dificultades de aprendizaje pero no se utilizan en la planificación | Se identifican las dificultades de aprendizaje según su naturaleza, hay un seguimiento durante el proceso de enseñanza y son utilizadas en la toma de decisiones |
| | C3. Participación | La participación es un factor determinante en el aprendizaje escolar. Sin embargo se asume que dependen enteramente del estudiante | La participación activa se entiende como dejar participar a los estudiantes mientras transcurre el discurso del profesor | Se asume la participación activa como ceder el control de la clase a los estudiantes, e incluirlos en la toma de decisiones del aula |

(CONTINÚA)

| | | | | |
|--|--|---|--|---|
| D. Conocimiento sobre las estrategias de enseñanza | D1. Tipo de actividades | Ayudan a asimilar mejor los contenidos, principalmente encaminados a movilizar y corroborar la información | Actividades variadas. Si hay escasez de tiempo se prescinde de las actividades prácticas | Actividades variadas; algunos promueven autonomía frente a aprendizaje |
| | D2. Secuencia de enseñanza | Informar-chequear/verificar-practicar | Descubrir/ explorar/introducir el concepto- aplicar el concepto | Motivar – explorar – explicar – desarrollar – evaluar |
| | D3. Representación de contenidos | Expresan el uso de analogías preestablecidas con poca reflexión en el contexto de enseñanza | Se vincula el uso de analogías antropomórficas con la intención de hacerlo más familiar al estudiante | Recoge el uso variado de distintas representaciones para dar cuenta del contenido según las necesidades de los estudiantes |
| E. Conocimiento sobre la evaluación | E1. Objeto de la evaluación | La correcta realización de una tarea que propone el profesor. Se evalúa lo que se enseña | Se evalúa la evolución de las ideas de los estudiantes con escasa negociaciones de los criterios de evaluación con los estudiantes | Se evalúa el proceso de enseñanza/aprendizaje no solo los contenidos |
| | E2. Instrumentos, técnicas y diseño de la evaluación | Generalmente una prueba escrita individual, que coincide con las preguntas y respuestas, definidas en la clase | Instrumento polifacético, por lo menos una prueba de carácter individual y otra grupal | Las estudiantes participan en su propia evaluación |
| | E3. Calificación | La calificación tiene una función comparativa y discriminatoria. La evaluación se asume algunas veces como sinónimo de calificación | La calificación se presenta como una indicación provisional acompañada, de propuestas de actuación para su mejora | La calificación supone tan solo el reconocimiento de logros perseguidos. Incluye planes de mejora y de acuerdo con el proceso seguido puede ser modificable |

Referencias

- Adadan, E. y Oner, D. (2014). “Exploring the progression in preservice chemistry teachers’ pedagogical content knowledge representations: The case of behavior of gases”, *Research in Science Education*, vol. 44, núm. 6, diciembre, pp. 829-858.
- Aydin, S.; Demirdogen, B.; Nur Akin, F.; Uzuntiryaki-Kondakci, E. y Tarkin, A. (2015). “The nature and development of interaction among components of pedagogical content knowledge in practicum”, *Teaching and Teacher Education*, vol. 46, febrero, pp. 37-50.
- Bektas, O. (2016). “Pre-service science teachers’ pedagogical content knowledge in the physics, chemistry, and biology topics”, *European Journal of Physics Education*, vol. 6, núm. 2, pp. 41-53.
- Blanco, A. (2010). “¿Flota o se hunde? Una secuencia de enseñanza para trabajar la competencia en el conocimiento e interacción con el mundo físico”, en A. de Pro (ed.), *Competencias en el conocimiento e interacción con el mundo físico: la comprensión del entorno próximo*, España: Ministerio de Educación, pp. 137-162.
- Brines, A. B.; Solaz-Portolés, J.J. y Sanjosé, 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*, vol. 34, núm. 2, pp. 107-127.

- Buteler, L. y Colenu, E. (2014). "El aprendizaje de empuje y sus variaciones contextuales: un análisis de caso desde la teoría de clases de coordinación", *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, vol. 13, núm. 2, pp. 137-155.
- Chini, J.J.; Straub, C.L. y Thomas, K.H. (2016). "Learning from avatars: Learning assistants practice physics pedagogy in a classroom simulator", *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, vol. 12, núm. 1, enero-junio, pp. 010117-1 -010117-15.
- Etkina, E. (2010). "Pedagogical content knowledge and preparation of high school physics teachers", *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, vol. 6, núm. 5, julio-diciembre, pp. 020110-1-020110-26.
- Fernández, C. y Fernandes de Goes, L. (2014). "Conhecimento pedagógico do conteúdo: estado da arte no ensino de ciências e matemática", en A. Garritz, S. Daza, y M.G. Lorenzo (Eds.), *Conocimiento didáctico del contenido. Una perspectiva Iberoamericana* Saarbrück: Editorial Académica Española, pp. 66-100.
- Findlay, M. y Bryce, T.G.K. (2012). "From teaching physics to teaching children: Beginning teachers learning from pupils", *International Journal of Science Education*, vol. 34, núm. 17, pp. 2727-2750.
- Fraenkel, J.; Wallen, N. y Hyun, H. (2012). *How to design and evaluate research in education*, 8ª ed., Columbus: McGraw-Hill Higher Education.
- García-Carmona, A. (2009). "Aprendiendo hidrostática mediante actividades de investigación orientada: Análisis de una experiencia con alumnos de 15-16 años", *Enseñanza de las ciencias*, vol. 27, núm. 2, pp. 273-286.
- Gess-Newsome, J. (2015). "A model of teacher professional knowledge and skill including PCK: Results of the thinking from the PCK Summit", en A. Berry, P. Friedrichsen y J. Loughran (eds.), *Re-examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education*, Nueva York: Routledge, pp. 28-42.
- Garritz, A.; Nieto, E.; Padilla, K.; Reyes, F. y Trinidad, R. (2008). "Conocimiento didáctico del contenido en química. Lo que todo profesor debería poseer", *Campo Abierto*, vol. 27, núm. 1, pp. 153-177.
- Garritz, A. y Mellado, V. (2014). "El conocimiento didáctico del contenido y la afectividad", en A. Garritz, S. Daza y M.G. Lorenzo (eds.), *Conocimiento didáctico del contenido. Una perspectiva Iberoamericana*, Saarbrück: Editorial Académica Española, pp. 227-263.
- Hashweh M. Z., (2005). "Teacher pedagogical constructions: a reconfiguration of pedagogical content knowledge", *Teachers and Teaching: Theory and Practice*, vol. 11, núm. 3, pp. 273-292.
- Hume, A. y Berry, A. (2010). "Constructing CoRes-a strategy for building PCK in pre-service science teacher education", *Research in Science Education*, vol. 43, núm. 3, pp. 341-355.
- Kind, V. (2009). "Pedagogical content knowledge in science education: perspectives and potential for progress", *Studies in Science Education*, vol. 45, núm. 2, pp. 169-204.
- Kirschner, S.; Borowski, A.; Fischer, H. E.; Gess-Newsome, J. y von Aufschnaiter, C. (2016). "Developing and evaluating a paper-and-pencil test to assess components of physics teachers' pedagogical content knowledge", *International Journal of Science Education*, vol. 38, núm. 8, pp. 1343-1372.

- 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*, vol. 41, núm. 4, pp. 370-391.
- Loverude, M. E.; Kautz, C.H. y Heron, P.R.L. (2003). "Helping students develop an understanding of Archimedes' principle I. Research on student understanding", *American Journal of Physics*, vol. 71, núm. 11, pp. 1178-1187.
- Magnusson, S.; Krajcik, J. y Borko, H. (1999). "Nature, sources, and development of pedagogical content knowledge for science teaching", en J. Gess-Newsome y N. Lederman (eds.), *Examining Pedagogical Content Knowledge. The Construct and its Implications for Science Education*, Dordrecht/Boston/Londres: Kluwer Academic Publisher, pp. 95-132.
- McNeill, K. L.; González-Howard, M.; Katsh-Singer, R. y Loper, S. (2016). "Pedagogical content knowledge of argumentation: Using classroom contexts to assess high-quality PCK rather than pseudoargumentation", *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 53, núm. 2, pp. 261-290.
- Mellado, V. (1998). "The classroom practice of preservice teachers and their conceptions of teaching and learning science", *Science Education*, vol. 82, núm. 2, pp. 197-214.
- Melo-Niño, L.; Cañada, F. y Mellado, V. (2017). "Initial characterization of a Colombian high school physics teacher's pedagogical content knowledge on electric fields", *Research in Science Education*, vol. 47, núm. 1, pp. 25-48.
- Melo, L.; Cañada, F. y Mellado, V. (2017). "Exploring the emotions in pedagogical content knowledge about the electric field", *International Journal of Science Education*, vol. 39, núm. 8, pp. 1025-1044.
- Melo, L.; Cañada, F.; Martínez, G. y Sánchez, R. (2016), "Dificultades del aprendizaje sobre el principio de Arquímedes en el contexto de la flotación", *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 38, núm. 4, pp. e4401-e4418.
- Nilsson, P. y Loughran, J. (2012). "Exploring the development of pre-service science elementary teachers' pedagogical content knowledge", *Journal of Science Teacher Education*, vol. 23, núm. 7, pp. 699-721.
- Nilsson, P. y van Driel, J. (2010). "Teaching together and learning together –Primary science student teachers' and their mentors' joint teaching and learning in the primary classroom", *Teaching and Teacher Education*, vol. 26, núm. 6, pp. 1309-1318.
- Nivalainen, V.; Asikainen, M.A.; Sormunen, K. y Hirvonen, P. E. (2010). "Preservice and inservice teachers' challenges in the planning of practical work in physics", *Journal of Science Teacher Education*, vol. 21, núm. 4, pp. 393-409.
- Ogan-Bekiroglu, F. (2009). "Assessing assessment: Examination of pre-service physics teachers' attitudes towards assessment and factors affecting their attitudes", *International Journal of Science Education*, vol. 31, núm. 1, pp. 1-39.
- Osborne, J. (2014). "Teaching scientific practices: Meeting the challenge of change", *Journal of Science Teacher Education*, vol. 25, núm. 2, pp. 177-196.
- Park, S. y Oliver, J.S. (2008). "Revisiting the conceptualisation of pedagogical content knowledge (PCK): PCK as a conceptual tool to understand teachers as professionals", *Research in Science Education*, vol. 38, núm. 3, pp. 261-284.

- 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*, vol. 49, núm. 7, pp. 922-941.
- Paulick, I.; Grossschedl, J.; Harms, U. y Moller, J. (2016). "Preservice teachers professional knowledge and its relation to academic self-concept", *Journal of Teacher Education*, vol. 67, núm. 3, mayo-junio, pp. 173-182.
- Reyes, D. y Martínez, C.A. (2013). "Conocimiento didáctico del contenido en la enseñanza del campo eléctrico", *Tecné Episteme y Didaxis: TED*, núm. 33, enero-junio, pp. 36-60.
- Schneider, R. M. y Plasman, K. (2011). "Science teacher learning progressions: A review of science teachers' pedagogical content knowledge development", *Review of Educational Research*, vol. 81, núm. 4, pp. 530-565.
- Shulman, L. (2015). "PCK: Its genesis and exodus", en A. Berry, P. Friedrichsen y J. Loughran (eds.), *Re-examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education*, Nueva York: Routledge, pp. 3-13.
- Thompson, J. R.; Christensen, W. M. y Wittmann, M. C. (2011). "Preparing future teachers to participate student difficulties in physics in a graduate-level course in physics, pedagogy, and education research", *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, vol. 7, núm. 1, enero-junio, pp. 010108-1-010108-11.
- Veal, W.; Tippins, D. J. y Bell, J. (1999, Marzo). *The evolution of pedagogical content knowledge in prospective secondary physics teachers*, trabajo presentado en the National American Research in Science Teaching Conference, San Diego, pp. 1-14.
- Yerdelen-Damar, S.; Faruk Özdemir, Ö y Ünal, C. (2015). "Pre-service physics teachers' metacognitive knowledge about their instructional practices", *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, vol. 11, núm. 5, pp. 1009-1026.
- Zhou, S.; Wang, Y. y Zhang, C. (2016). "Pre-service science teachers' PCK: Inconsistency of pre-service teachers' Predictions and student learning difficulties in Newton's third", *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, vol. 12, núm. 3, pp. 373-385.

Artículo recibido: 2 de mayo de 2017

Dictaminado: 27 de julio de 2017

Segunda versión: 29 de septiembre de 2017

Aceptado: 6 de octubre de 2017