

## Didáctica Del Campo Eléctrico: Perspectiva Del Profesor De Física En Formación Inicial

Teaching the Electric Field: Perspective Physics Professor in Early Education

Ensinar o Campo Elétrico: Perspectiva Física Professor na Educação

Jaime Duván Reyes Roncancio<sup>1</sup>

Fecha de recepción: junio 2014

Fecha de aceptación: noviembre 2014

**Para citar este artículo:** Reyes, D. (2015). Didáctica del campo eléctrico: perspectiva del profesor de física en formación inicial. *Revista Científica*, 21, 97-110. **Doi:** [10.14483/udistrital.jour.RC.2015.21.a10](https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.RC.2015.21.a10)

### Resumen

El artículo presenta resultados de la tesis doctoral en Educación en Ciencias de la Naturaleza de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, en donde se establecen características del conocimiento didáctico de contenido sobre la enseñanza del campo eléctrico. La perspectiva metodológica de corte cualitativo permitió constituir un caso de estudio sobre la didáctica del profesor de física en formación inicial en el contexto de su práctica docente. Los resultados se organizan desde narrativas metafóricas y discuten lo enfoques didácticos utilizados, que a su vez cuestionan implicaciones curriculares en la formación inicial de docentes de física.

**Palabras Clave:** Didáctica, física, conocimiento didáctico del contenido, campo eléctrico, enseñanza.

### Abstract

The article presents results of a doctoral thesis on Education from Universidad Distrital Francisco José de Caldas, where characteristics of teaching content knowledge about the teaching of electric field is established. The methodological perspective allowed

constitute a qualitative case study of a pre service physics teacher inside of the practicum. The results are organized from metaphorical narratives discussing the pedagogical approaches and the curriculum of initial training physics teachers.

**Keywords:** Teaching, Physics, Pedagogical Content Knowledge, electric field.

### Resumo

O trabalho apresenta resultados da tese de doutorado em Educação Ciências Naturais da Universidade de Francisco José de Caldas, onde características do conhecimento didáctico do conteúdo sobre o ensino do campo elétrico é estabelecido. A perspectiva metodológica qualitativa permitiu constituir um estudo de caso sobre o ensino da Física na formação inicial de professores no contexto da sua prática docente. Os resultados são organizados a partir de narrativas metafóricas e discutir o que abordagens de ensino utilizado e que por sua vez pergunta implicações curriculares para a formação inicial de professores em física.

**Palavras-chave:** Ensino, Física, Educação conhecimento do conteúdo, campo elétrico, ensino.

<sup>1</sup> Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá- Colombia. Contacto: [jdreyesr@udistrital.edu.co](mailto:jdreyesr@udistrital.edu.co)

## Introducción

En este trabajo de caracterización se asume el Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) como un constructo (Abell, 2008; Carlsen, 1999; Grossman, 1990) cuyo desarrollo teórico ha venido permitiendo configurar el estudio por medio de los componentes del CDC, aun cuando no se tiene una perspectiva unificada sobre los mismos.

Tal como se ilustra en la Tabla 1, no hay una postura unificada en la comunidad investigativa sobre los componentes del CDC, lo cual ha permitido, en últimas, una flexibilidad relativa a la hora de investigar así como de considerar el CDC en la formación de profesores. Para el caso de la formación de profesores de física, Etkina (2010) propone los siguientes componentes: orientaciones hacia la enseñanza, conocimiento de las ideas de los estudiantes, conocimiento de estrategias efectivas de enseñanza y experimentos en la clase, la motivación de los estudiantes.

Como se aprecia, los componentes del CDC desde la perspectiva de Etkina (2010) retoman la propuesta de Magnusson et al (1999), sin embargo, dado el objetivo de la tesis, y en especial por su especificidad en la caracterización de la enseñanza del concepto campo eléctrico por parte de los profesores en formación, se tomaron los siguientes cuatro componentes: contenidos, actividades, ideas de los estudiantes y evaluación.

## Contexto de la investigación

La investigación se desarrolló mediante la construcción de un caso de estudio referido a un estudiante del Proyecto Curricular de Licenciatura en Física de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, de la ciudad de Bogotá (Colombia). Los estudiantes de este programa son profesores de física en formación inicial, orientada a la enseñanza de la física en la educación media (bachillerato). A la

**Tabla 1.** Configuración de los componentes del CDC como constructo emergente. Adaptado de Park y Oliver (2008)

	Shulman (1987)	Tamir (1988)	Grossman (1990)	Marks (1990)	Smith and Neale (1989)	Cochran, et al. (1993)	Ceddis et al. (1993)	Fernández-Balboa and Strehl (1995)	Carlsen (1999)	Magnusson, Krajick y Borko (1999)	Morine-Dershimer y Kent (1999)	Martin del Pozo y Rivero (2001)	Barnett y Hodson (2001)	Segall (2004)	Loughran, Mulhall y Berry (2006)	Hashweh (2005)	Etkina (2010)
<b>Currículo</b>																	
<b>Contenidos</b>																	
<b>Ideas de los estudiantes</b>																	
<b>Comprensión de los estudiantes</b>																	
<b>Estrategias de enseñanza y representaciones</b>																	
<b>Evaluación</b>																	
<b>Propósitos de la enseñanza</b>																	
<b>Organización y secuenciación de lecciones</b>																	
<b>Contexto</b>																	

altura del noveno semestre, los estudiantes toman el curso de Práctica Docente, bajo el nombre de Práctica Integral, en el cual se reflexionan, planean y desarrollan propuestas de enseñanza de la física. Este curso como tiene correquisito el curso de Didáctica de la Física III.

Ahora bien, el proceso de selección del estudiante estuvo precedido por una consulta con los profesores de la práctica docente, dado que se requería su aval y, además, la autorización del colegio en donde se realizarían los registros de video. En este trabajo se contó con la colaboración del profesor del curso Didáctica de la Física III, quien sugirió uno de los colegios de práctica docente y quién, además, estableció el contacto con el profesor de física, tutor de esta institución que estaba a cargo del curso de física en grado once. El contacto con el profesor tutor de la universidad a cargo del estudiante seleccionado fue mínimo, dado que trabajaba en otra institución. Resultado de este proceso se escogió al estudiante como parte del proceso tanto de selección como del levantamiento de los permisos necesarios. Una vez se consultó con el estudiante seleccionado, se procedió a la firma del protocolo de consentimiento y se comenzó con el proceso que posteriormente se describe.

## Metodología

Dado que el principal objeto de la investigación lo constituye la búsqueda por la caracterización del conocimiento didáctico del profesor de física, se asumió la perspectiva de investigación interpretativa que, en el sentido de Erickson (1997), se entiende como “todo el conjunto de enfoques de la investigación observacional participativa” (p.196), aunada con el enfoque de estudio intrínseco de caso como lo concibe Stake (1998), en particular dado el interés del investigador en lo que respecta a la utilidad que representa realizar la indagación del conocimiento didáctico del contenido, es decir, que existe una motivación por alcanzar la comprensión del caso en sí mismo,

sin pretender desarrollar generalizaciones, es por esto que el producto final puede tener un carácter descriptivo.

En este sentido, el presente trabajo asume que a través de un proceso de interpretación de los componentes del CDC (criterios de selección y secuenciación de contenidos, tipos de tareas y actividades, inclusión de propuestas que permitan la detección de las ideas de los estudiantes, criterios y herramientas de evaluación) que manifiesta el profesor de física en formación inicial tanto en su planeación como en sus acciones diarias de clase, se podrán caracterizar tales componentes y sus relaciones intrínsecas (Reyes, 2010). Así, se desarrollaron tres fases de constitución del objeto de estudio a saber:

- a. La planeación [PA] de la enseñanza del campo eléctrico, en donde se aplicó una encuesta y una entrevista al estudiante seleccionado y, adicionalmente se revisó el documento de planeación en el contexto de la Práctica Docente.
- b. Las sesiones de enseñanza interactiva [CLA], en donde se realizó acompañamiento a las clases desarrolladas por el estudiante sujeto de estudio asociadas a la enseñanza del campo eléctrico.
- c. La sesión de estimulación del recuerdo [ER], que consistió en el análisis de la videograbación de la clase sobre campo eléctrico, proceso en el cual el estudiante objeto de estudio observó el video de su clase y tuvo la libertad de realizar los comentarios que consideró pertinentes.

La triangulación de estos instrumentos al interior de las fases permitió validar internamente la consistencia del proceso interpretativo. Así, el análisis del contenido de este proceso de indagación se realizó con referencia a los cuatro componentes del CDC (contenidos, actividades, ideas de los estudiantes y evaluación), cuyos resultados se presentan a continuación.

## Resultados

Si bien el proceso de caracterización del CDC del profesor practicante resulta bastante complejo, el trabajo desarrollado permitió una organización descriptiva de la didáctica del campo eléctrico a manera de relatos con intenciones metafóricas. En lo que sigue se contextualiza el sujeto de investigación para luego entrar a relatar las metáforas de sentido de su CDC. Este análisis utilizará como referente las unidades de análisis asociadas a los instrumentos de indagación (Tabla 2).

### Daniel<sup>2</sup>: el profesor practicante

Daniel es un estudiante de 23 años que por primera vez asume el espacio académico de Práctica Integral en su proceso de formación de la Licenciatura en Física. Los recuerdos de sus profesores del bachillerato lo llevan a valorar la imagen de su profesora de matemáticas, considerando que su espontaneidad le impactó y le generó un gusto por la profesión, siendo el caso contrario el de su profesora de física quien, a su juicio, era “un poquito grosera, como típico profesor” [6-ENT] Así, ya teniendo que tomar un camino en la universidad decidió estudiar Licenciatura en Física como una forma de no renunciar a sus aspiraciones por la

Licenciatura en Matemáticas y su ideal de “*ser un buen profesor*”. Ahora bien, como él mismo declara “.con el transcurso del tiempo la física me acogió [...] porque lo pone a uno a pensar más de los que uno tenía previsto...” [4-ENT]. Se sintió entonces con el reto de demostrarse a sí mismo que podía sacar adelante sus estudios en esta carrera. Al comienzo sintió intereses compartidos con los demás compañeros, pero estos fueron transformándose en maneras de subsistir que obedecían a lógicas menos comunitarias, y ya a la altura de su noveno semestre todos son de corte individualista. A lo largo de este proceso pudo recoger una imagen de buen profesor asociada a la distinción de características profesionales, pues ser profesor “no es solo soplar y hacer botellas, un profesor es tener dedicación y tiene que tener estudio” [10-ENT] reconociendo así la importancia de lo que llama “el trascurso de su carrera y de profesión”.

En cuanto a su formación en pedagogía y didáctica, Daniel asocia a la primera con mera teoría y lecturas que, en últimas, no le permitían concretar las cosas y en este sentido veía cómo la “pedagogía pues [...] no servía” [12-ENT]. En cuanto a la didáctica, asume que dado su carácter práctico asociado a cosas como el uso de libros, los laboratorios y algunos *tips*, le ha permitido encaminarse mucho más al trabajo de profesor. En este sentido,

**Tabla 2.** Convenciones para el desarrollo analítico

[X-ENC]	X: Número de línea del documento, lugar donde se encuentra la unidad de información referenciada. --- ENC: Encuesta
[X-PA]	X: Número de línea del documento, lugar donde se encuentra la unidad de información referenciada.---PA: Documento de planeación del profesor practicante
[X-ENT]	X: Número de línea del documento, lugar donde se encuentra la unidad de información referenciada.---ENT: Entrevista
[X-CLA]	X: Número de línea del documento, lugar donde se encuentra la unidad de información referenciada.---CLA: Sesión de clase
[X-LAB]	X: Número de línea del documento, lugar donde se encuentra la unidad de información referenciada.---LAB: Sesión de laboratorio
[X-ER]	X: Número de línea del documento, lugar donde se encuentra la unidad de información referenciada.---ER: Sesión de estimulación del recuerdo

<sup>2</sup> Nombre cambiado de acuerdo con protocolo de derecho a la privacidad del estudiante

Daniel considera que los cursos previos a la Práctica Integral son de teoría de la pedagogía y asume que en el colegio “va a aplicar lo que aprendió” en aquellos; sin embargo, la gran diferencia radica en que en los cursos previos su papel era leer y ahora es la “...práctica como tal” [2-ENT], asumida como aplicación.

### **Organización de resultados desde metáforas de sentido**

La metáfora, al transferir significados, crea y recrea un sentido común, un lugar desde el cual un aspecto de lo real se vuelve observable, visible, de una manera total, para otros " (p. 4). Así la metáfora no solamente puede servir para expresar una cosa en términos de otra, sino que también permite establecer relaciones entre cosas, por lo que cumple “una función hermenéutica de ofrecer la posibilidad de una visión total del objeto de estudio. Es decir cumple con la posibilidad de construir teoría” (Román, 2007). Igualmente es posible considerar que las metáforas establecen relaciones que se van construyendo desde la parcialidad de cada una de estas: “se trata de una relación parcial, y no total, de un movimiento progresivo y constructivo, cuya contingencia, provisionalidad y parcialidad invita[n] a la necesaria participación de otras metáforas, en ese ejercicio de nombrar, comprender y construir lo social” (Román, 2007). En lo que sigue se presentan tres de las metáforas de sentido producto del análisis de contenido.

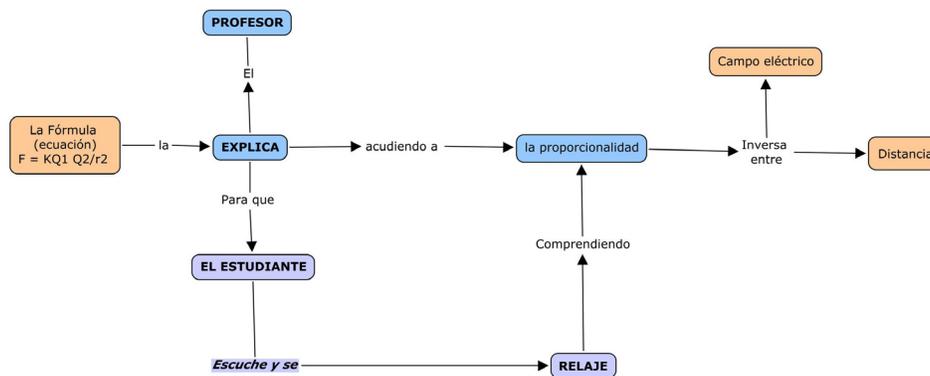
#### *Sin la fuerza no hay certeza*

En el trabajo de Daniel, una de las condiciones necesarias, y al parecer suficientes, para la enseñanza del concepto de campo eléctrico radica en que los estudiantes dominen adecuadamente el concepto de fuerza como interacción entre cuerpos, su representación vectorial y la operatoria asociada a la determinación de la fuerza neta que actúa sobre un cuerpo. Es por esto que bajo la idea de “sin la fuerza, no hay certeza” se construye esta

interpretación del valor de requisito que adquiere el concepto de fuerza, donde hay muchos implícitos y bastantes aspectos que dependen del contexto en donde se planea y se produce la enseñanza interactiva.

En primer lugar, dado que la ley de Coulomb resulta ser un concepto estructural en la enseñanza del campo eléctrico, y que este involucra la idea de fuerza, para Daniel se hace también relevante generar un ambiente donde “no se preocupen de ecuaciones, las ecuaciones, las fórmulas son tal y tal” [273-ENT]; es una perspectiva explicativa, donde el papel de Daniel sería disminuir las tensiones con los ejercicios al dotarlos de explicaciones: “por ejemplo la intensidad del campo eléctrico  $KQ_1 Q_2/r^2$ , entre mayor distancia menor campo eléctrico, entre menor distancia mayor campo eléctrico” [273-ENT]. La actividad de explicación (Figura 1) centraría la atención en destacar la relación proporcional entre la distancia y lo que Daniel denomina como “intensidad del campo eléctrico”, es decir se le atribuye a la explicación un poder de seducción hacia la eliminación de prevenções o prejuicios negativos que los estudiantes tienen sobre las ecuaciones. Sin embargo, el centro de las interacciones y actividades es Daniel, y en esta situación el concepto de fuerza resulta preponderante y transversal tanto en la definición del campo eléctrico [CLA-093] como en el tratamiento que se le da a los ejercicios de lápiz papel sobre campo eléctrico en un sistema de cargas puntuales, así como a la representación de las líneas de fuerza [CLA-098]. Más aún cuando al reflexionar sobre su sesión de clase, Daniel recalca sobre su papel como profesor que no debe dejar nada suelto y dar un discurso sin titubeos [ER-73], en lo que respecta a la relación y diferenciación entre fuerza y campo.

La ley de Coulomb, por tanto, adquiere relevancia para Daniel en cuanto reafirma la visión de acción a distancia y la analogía con el campo gravitacional y el campo eléctrico. Por un lado, en la enseñanza, para Daniel es importante:



**Figura 1.** La explicación de la fórmula

que la fuerza se vea, que hay dos cargas, entonces, que debe haber una distancia de separación como en el campo gravitacional... Lo que yo quisiera es que cogieran el concepto desde ahí, que es inversamente proporcional, porque... Que significa que es inversamente proporcional y directamente proporcional. [277-ENT]

Adicionalmente, para el caso de la ecuación del campo eléctrico ( $E=F/q$ ), Daniel relativiza su complejidad al asignarle a la relación entre fuerza y distancia un poder explicativo que no explicita la misma fórmula. Así, dado que le interesa que sus estudiantes: “Aprendieran más o menos el concepto, pero con una ecuación ellos no...”, argumenta que

para eso entonces es precisamente darles lo elemental de esa ecuación, decirles que hay una fuerza, un radio, bueno, una distancia; entonces, según esta distancia depende que haya mayor o menor intensidad. Y que el campo eléctrico se debe a que una fuerza, (no) una fuerza se debe a que hay un campo eléctrico. [275-ENT]

En segundo lugar, se observa cómo Daniel insiste en desarrollar la explicación del campo alrededor de la idea de fuerza, configurando el origen de esta fuerza en el campo eléctrico. Situación que no es ajena a las explicaciones de algunos libros de texto. Por ejemplo, Sears, Zemansky y Young,

(1981) explican que “si existe un campo eléctrico dentro de un conductor, se ejercerá una fuerza sobre cada carga de este...” (p. 561). En el caso de Serway (1997), la relación entre campo eléctrico, fuerza y distancia se hace explícita cuando se sustituye el vector  $F$  en la ecuación de campo eléctrico y se obtiene  $E=k(q/r^2)$ , así se explica aquí que esta ecuación debe entenderse como “el campo eléctrico debido a la carga  $q$  en la posición de  $q_0$ ” (p. 12), siendo  $q_0$  la carga de prueba que se coloca a una distancia  $r$  de  $q$ . Sin embargo, Daniel no advierte la necesidad de explicar la existencia del campo eléctrico aun cuando no se asuma la carga de prueba. En este sentido, Serway (1997) destaca que “es más, se puede decir que existe el campo eléctrico en un punto (incluso en el espacio vacío) sin importar que esté localizada o no una carga de prueba en ese punto” (p. 12) Esta situación, aunada a la no explicitación del origen de la relación entre fuerza, campo y distancia (en la explicación de campo eléctrico), son serios indicios de que Daniel puede estar entendiendo que lo mejor para explicarles a los estudiantes es que el campo es lo mismo que la fuerza para así hacerlo “elemental” .

Así, Daniel considera que la comprensión del concepto de campo eléctrico requiere retomar los conceptos de fuerza, leyes de Newton, vectores y campo gravitacional, así como carga y líneas de corriente. En este sentido, los conceptos primarios son en últimas los conceptos de carga

y fuerza eléctrica, pero también “[los estudiantes] deben saber lo que es campo gravitacional, porque con eso pueden entender lo que es campo eléctrico, para hacer analogías” [57-ENT], de manera que la analogía sería otro concepto *primario* para su enseñanza. Estos dos elementos, la analogía y los *conceptos primarios* tienen un origen netamente curricular, especialmente en relación con los contenidos usuales de los programas y libros de texto. Este proceso de aprendizaje requeriría un insumo, en términos de Daniel, “primero entonces sería darles un conocimiento. ¡Ta!” [127-ENT], frente a lo cual lo más pertinente es que: “yo empiezo con clase magistral...” [129-ENT]. La jerarquización que Daniel hace en la encuesta de los conceptos asociados al campo eléctrico deja ver algunas coincidencias con lo declarado en la entrevista, pues organiza los contenidos conceptuales desde la misma perspectiva, pero esta vez no necesariamente en la intención de requisito sino desde la idea de máxima relación o mínima relación con el campo eléctrico. Se aprecia cómo Daniel califica en el máximo nivel de relación 5 el vector campo eléctrico y el concepto de campo, la fuerza, los vectores, las leyes de Newton y la gravedad. Deja en un nivel de relación 4 el concepto de superposición y de las línea de campo. Ratifica así los conceptos *elementales* y los conceptos *primarios* que a su juicio se requieren para la enseñanza del campo eléctrico. Así las cosas, Daniel reconoce que tanto los conceptos físicos mencionados como primarios o los elementales se requieren para comprender el campo eléctrico, pero no solo se valida su necesaria existencia, sino que quien debe suministrarlos a los estudiantes es él. Como profesor su papel consiste aquí tanto en dar los conceptos como en revisar que los anteriores (de grado décimo<sup>3</sup>) también se conozcan, siendo el de la analogía con el campo gravitacional un aspecto importante, aun cuando las características intrínsecas no son objeto de análisis, sino que más bien queda en el plano de una comparación más

sobre la idea de campo en términos generales que sobre el concepto de campo eléctrico como tal. Es decir, si la analogía es un contenido conceptual, se asume desde la idea de campo gravitacional como un tema que se ha visto en grados de escolaridad anteriores, y no como una estrategia de pensamiento, lo que implicaría una perspectiva de requisito que asume al campo gravitacional con sus propiedades intrínsecas como un conocimiento que deberían poseer los estudiantes antes de la enseñanza del campo eléctrico.

En tercer lugar, la idea de fuerza como una herramienta fundamental también se requiere a la hora de la clase. En efecto, cuando los estudiantes no pueden hacer la tarea, Daniel explica algunos ejercicios que a juicio de los primeros son difíciles. Sin embargo, esta actividad de explicación no es ajena a ejercicios similares que Daniel ha planteado con anterioridad, situación que le permite estar recordándoles a los estudiantes: “Por eso le[s] dije aquí, que las leyes de Newton... ¿se acuerda[n]?... aquí la tiene[n] que aplicar, con la fuerza eléctrica también incluida” [CLA-007]. De esta manera, utiliza los ejercicios que planteó con anterioridad como herramienta para que los estudiantes actúen en clase, en particular destacando el papel de las leyes de Newton en la comprensión de la ley de Coulomb. Así mismo, al momento de analizar su clase, en la sesión de estimulación del recuerdo, Daniel también manifiesta la importancia del concepto de fuerza y el principio de superposición como requisito, especialmente al momento de la realización de los ejercicios de lápiz y papel (ejercicio donde hay una esfera cargada eléctricamente que cuelga de una cuerda de manera pendular), porque allí asume que los estudiantes tienen como ideas previas “fuerzas de newton, leyes de newton y lo que era cada fuerza” [ER-19]. De manera que el concepto de fuerza como vector no requiere mayor aclaración, y más bien debe ser complementado con la necesaria descomposición de la tensión en un ángulo, en especial porque para

<sup>3</sup> Nombre cambiado de acuerdo con protocolo de derecho a la privacidad del estudiante

Daniel los estudiantes “ya tienen los datos... en el momento que hagan sumatoria de fuerza, les dije, que el ángulo también se tenía en cuenta” [ER-19]

*El que sabe sabe*

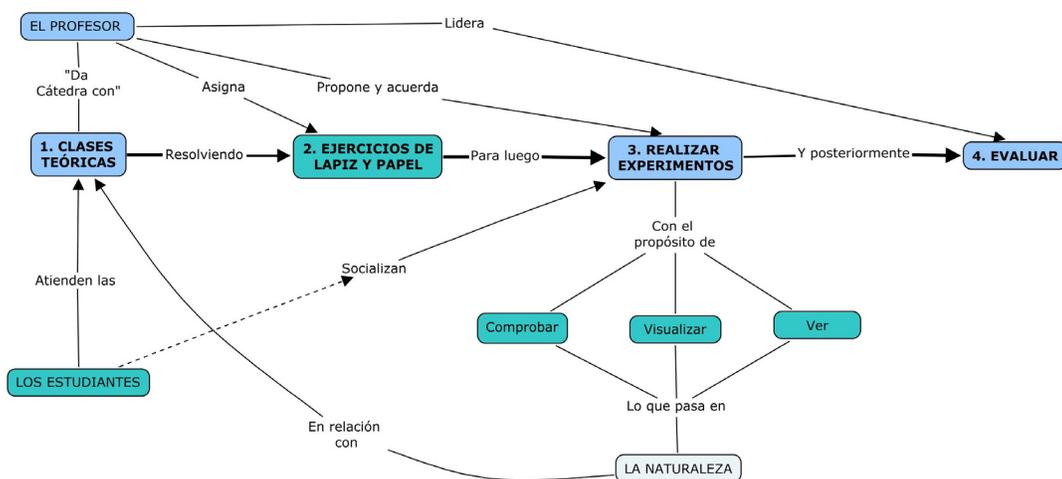
Daniel inicialmente declara que el fin del experimento en la clase no es jugar sin comprender, pero a este le deben anteceder unas sesiones teóricas [36-ENT] [5, 7, 8-PA]. En este proceso, Daniel deja clara su concepción del experimento en la clase de física como espacio para la comprobación de la teoría pues tiene un matiz de “visualizador”, incluso en la propuesta alternativa de “museo”, su intención también está asociada a que esta actividad sirva para “que ellos [los estudiantes] reforzaran los conceptos” [42-ENT], que además sirven para satisfacer los intereses primarios de los estudiantes y que por ello “uno tiene que impactarlos con algo que se vea [...] que les cause curiosidad”, todo esto fuertemente influenciado por su deseo de que “vieran que lo que nosotros hacemos en clase se ve reflejado en la naturaleza” [42-ENT]

Su propuesta de trabajo experimental con el electroscopio, por ejemplo, es evidencia de la necesidad de revisar los conceptos de carga, inducción, electrización por frotamiento. Y en el caso de la propuesta de trabajo con el GVDG se observa cómo Daniel pretende utilizarla solo “para que

ellos vieran a grandes rangos lo de campo eléctrico” [193-ENT], es decir, nuevamente un carácter de visualizador, o de comprobación de que lo que se dice en la teoría física de verdad sucede en la naturaleza. A manera de ejemplo, Daniel propone las situación del acercamiento de una vela (encendida) al generador y menciona cómo aquí los estudiantes pueden ver la curvatura de la líneas de campo (eléctrico) debido a la presencia de la vela [201-ENT], sin embargo en la sesión de laboratorio, Daniel no aborda esta experiencia.

En otra situación, Daniel propone la generación de una chispa con el GVDG, en esta experiencia, también demostrativa, asume que la producción del “rayo” se debe principalmente a las partículas del aire que rodean al GVDG y al objeto que se acerca a su cúpula, que también “va a tener pequeñas cargas, entonces va haber un campo eléctrico... porque el campo eléctrico es generado por una carga” [221, 223-ENT].

Para Daniel, la chispa con el GVDG es similar al rayo en las nubes, donde el pararrayos cumple la función de atraer el rayo y se asemeja al cuerpo que se acerca al generador. Así, la chispa se produce por contacto con las partículas del aire. La idea es que el campo eléctrico tiene relación con el aire solo si este tiene *partículas*, así que se hace necesaria la presencia de tales partículas cargadas eléctricamente para que haya campo eléctrico. Sin



**Figura 2.** Representación de la secuencia de actividades de la planeación de Daniel

embargo, esta asociación entre chispa, rayo, pararrayos, nubes y campo eléctrico ya está elaborada previamente en Daniel, quien supone que sus estudiantes puedan entenderla a la luz del tratamiento teórico previo. La sesión del laboratorio sobre el GVDG reveló, precisamente, que Daniel se centró en procurar que sus estudiantes primero comprendieran cómo funciona el artefacto mientras él lo manipulaba [LAB - 14], para luego formular las preguntas sobre la generación de la chispa.

Con todo, se manifiesta una consistencia en los argumentos que Daniel declara, y es que las actividades experimentales deben ir después de las actividades asociadas al suministro de información teórica, pues al parecer no se “verían” los fenómenos. Así, para experimentar en la clase hay que tener de antemano un cuerpo teórico [2, 7, 8-PA], pues de otra manera no se podrá comprender. Las actividades y tareas que Daniel planea requieren primero de información teórica pues “ahí va el orden, lo a que uno dice orden, porque se dice que el orden sería: clase magistral, ejercicios y laboratorios” [129-ENT], ya que “mandar los laboratorios de comienzo sería una buena idea, pero ellos no tendrían bases de donde reforzar lo que ellos están haciendo” [129-ENT].

Aunque Daniel eventualmente consideraría adecuado comenzar sus clases con actividades experimentales, su criterio didáctico de la secuencia de actividades está mediado por una forma más

bien acumulativa de transmisión del conocimiento físico (y en cierto sentido racionalista puro) que le permita a los estudiantes experimentar solamente cuando se posean los conocimientos previamente trabajados en la clase y en donde “los ejercicios” también forman parte de este conocimiento, en especial al considerar la relevancia que Daniel le da a la metáfora de la contienda como actividad de preparación de sus estudiantes.

En síntesis, Daniel prefiere afirmar que empieza “con clase magistral para darles bases para que ellos se sostengan en lo experimental” [129-ENT]. Con esta manera lineal y acumulativa de comprender la enseñanza no hay posibilidades aquí de ir aprendiendo en la práctica experimental, es decir es como cuando se le invita a uno a jugar y se le advirtiese que este juego solo lo conocen unos cuantos y para poder jugarlo debes saber primero las reglas. Como uno no pertenece a esos “cuantos” prácticamente nunca podré ver la maravilla del juego, ni mucho menos divertirme, de pronto me dejan participar de momentos haciéndome creer que mis ideas son valiosas, pero en últimas nunca podré tener la comprensión del juego (Figura 2).

Ahora bien, en la sesión de clase existieron eventos asociados a los procesos de transmisión del conocimiento que Daniel asume desde la perspectiva mencionada. En particular, se toma como ejemplo el caso de la explicación del campo eléctrico:

90	(29:04 - 29:08) <b>**hoy vamos a trabajar con campo eléctrico, ya...**...//</b>
91	(29:09 - 29:44) P.F: <i>Entonces, vamos a ver que campo eléctrico es lo que hay en cada, o sea, como el espacio que, que hay entre una carga y otra; que es lo mismo que analizaban con el campo gravitacional..., que decían que...por ejemplo, la luna permanecía en órbita por ese campo, ese campo eléctrico, por el campo eléctrico que hay ahí, ±...// Porque nosotros  bíamos visto lo que era fuerza, ¿cierto? y esa fuerza era porque había un campo eléctrico, ±</i>
92	(29:45 - 29:56) P.F: <i>¡Entonces!, teniendo ese campo eléctrico nosotros teníamos una fuer  ¡Entonces!, lo que hacían era coger ese análisis y plantearlo con lo, con lo del átomo...//</i>
93	(29:57 - 28:) P.F: <i>Que lo hacía que permaneciera en órbita el electrón, era ese campo eléctrico, ±...// [señala constantemente el tablero y a su vez dirigiéndose a los estudiantes] Gracias a que tenía, que ese campo eléctrico producía una fuerza... dentro de ella, ±...bueno, ±. // Entonces, llegaron a una conclusión: decían que... que el campo eléctrico, ** bueno, la fuerza que había ahí se debía al campo eléctrico que estaba entre ellas, que era el espacio, ±...como que el espacio que había entre ellos...</i>

De esta manera, Daniel acude a una referencia impersonal donde se menciona L otros han elaborado tales explicaciones y, al parecer, su papel consiste en contarlos, proceso en el cual relaciona, mediante el gráfico del comportamiento del sistema Tierra-Luna con el campo eléctrico de una partícula y su entorno, ya que “por ejemplo, la luna permanecía en órbita por ese campo eléctrico... que hay ahí” [CLA-091]. Asumiendo, implícitamente, que hay un electrón orbitando alrededor de un núcleo, o hay una partícula orbitando alrededor de otra; de suerte que el movimiento de las partículas eléctricas se debe a un campo eléctrico, así como el movimiento de la Luna se debe al campo gravitacional de la Tierra. Así, para Daniel la explicación del sistema Tierra-Luna debido a la existencia del campo gravitacional es análoga a la explicación del sistema núcleo-electrón, debido al campo eléctrico, puesto que “lo que hacían era coger ese análisis y plantearlo con lo del átomo...” [CLA-092], de manera que su explicación a los estudiantes se fundamenta en el comportamiento analógico de ambos sistemas.

Al respecto, en la sesión de estimulación del recuerdo, Daniel reflexiona acerca de la pertinencia de la analogía. En primer lugar, para él el campo gravitacional es un concepto importante y además se encuentra en el currículo oficial del colegio, por lo tanto considera que los estudiantes ya lo deberían saber. Por ello afirma: “si cogemos algo que ellos ya conocen...\* o algo a escala mayor, lo podrían traer a escala una menor, es decir ellos sabían que, pues, \*... la Tierra orbitaba” [ER-40-41], pues este concepto se enseña en el grado anterior. Asume que sus estudiantes han de relacionar sus ideas sobre el campo gravitacional y la órbita de la Tierra para así facilitar la comprensión del campo eléctrico. Cabe anotar el carácter de requisito que tendrían aquellos conceptos y que a juicio de Daniel pertenecen al mundo macroscópico, y lo que habría que hacer es extrapolarlos al mundo de lo microscópico.

En segundo lugar, cuando Daniel explica el concepto de campo eléctrico tiene en cuenta que

“...porque, es que... al momento de eso, ellos creían, que la fuerza es lo mismo que el campo; entonces, toca aclararlo... *porque yo lo creía, yo creía algo así...!*” [ER-49], manifiesta su percepción acerca de la idea de los estudiantes entorno a la “confusión” entre campo y fuerza. Es decir, asume la existencia de una confusión en sus estudiantes entre los conceptos de campo y fuerza, y opta por aclarar que la causa de la fuerza es el campo, aspecto en el que también reconoce que este tipo de aclaraciones eran necesarias, pues resultan similares a la evocación de su experiencia como estudiante en torno a la confusión de los conceptos fuerza y campo (en cursiva).

Nótese, entonces, que la presunción de la confusión se asume desde la explicación misma de Daniel y de la interpretación que hace de las ideas de sus estudiantes, así mismo conviene resaltar que la forma de solventar la confusión se organiza en un sentido causal, es decir que una cantidad física como la fuerza es debida al campo eléctrico, donde no necesariamente Daniel acude a la organización discursiva que explique cada concepto de manera independiente o diferenciada, sino que asume una perspectiva explicativa basada en una relación causal. Al respecto de esta perspectiva lineal causal, Viennot (1992) destaca cómo resulta ser una concepción que contribuye en reforzar visiones poco flexibles del fenómeno eléctrico.

### *El narrador ausente*

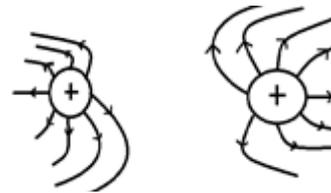
Una imagen que se desprende de la sesión de clase, así como de sus reflexiones sobre la misma, consiste en que en Daniel es un contador de historias. En efecto, el estilo impersonal que le imprime a la definición del campo eléctrico, a la asignación del carácter de representación, a las líneas de fuerza y a su respectiva asociación con la carga eléctrica, pone a Daniel en un lugar nada protagónico en la construcción de conocimiento físico y mucho menos de conocimiento didáctico autónomo desde la perspectiva de la transposición didáctica. Esta situación se desprende del análisis de evento

de la clase lo constituye la enseñanza de las líneas de fuerza, el cual complementa la explicación del campo eléctrico.

En la explicación de Daniel sobre las líneas de fuerza, por ejemplo, se adiciona el relato de la definición del campo eléctrico. Así, primero cuenta qué decidieron los científicos (los otros) sobre este concepto y luego sigue relatando otra de sus decisiones: que la carga eléctrica debería tener líneas de fuerza. Este aspecto de la clase nuevamente distingue la falta de un discurso propio acerca de los conceptos asociados, en este caso el de líneas de fuerza. Como se asume a manera de relato, se quiere contar lo que los demás decidieron y en tal sentido la voz del Daniel no existe. Veamos por ejemplo:

Este aspecto puede ser entendido desde otra perspectiva, la de considerarlo como una manifestación de las dificultades de comprensión de los estudiantes universitarios sobre el campo eléctrico, asunto abordado por Furió y Guisasola (1998a, 1998b, 1999, 2001), quienes revelan que estos

problemas están asociados a los enfoques epistemológicos con que se asume el campo eléctrico. Al respecto, cabe mencionar que Daniel representa las líneas de fuerza (que le pertenecen a la carga) inicialmente como flechas rectas y, en el caso de dos cargas del mismo signo (positivas) dibuja las líneas de fuerza distribuyéndolas en el espacio alrededor de las mismas (Figura 6).



**Figura 6.** Representación de líneas de fuerza para dos cargas puntuales positivas. (Dibujo en el tablero realizado por Daniel)

Es decir que, no hay una limitación de las líneas al espacio que se encuentra entre las cargas. Así mismo, para Daniel es importante que los estudiantes

95	(30:43 – 31:15) P.F: bueno, el campo eléctrico lo vamos a señalar con, con la flechita, $\pm$ ;... $\clubsuit\clubsuit\clubsuit\clubsuit$ que va a ser muy diferente a la fuerza que nosotros estamos trabajando...// Entonces, qué decían ahí...// Bueno, como se aprecia la carga, también tiene que depender de la carga, $\pm$ ...// Llegaron a que, bueno, les voy a escribir la ecuación, $\pm$ ...solo por lo que se den de cuenta, la conclusión a la que llegaron.
96	(31:16 – 31:23) P.F: $\clubsuit\clubsuit\clubsuit$
97	(31:24 – 32:10) P.F: $\pm$ , entonces cómo se dan de cuenta, depende de la fuerza y de la carga, pero, no es que el campo eléctrico sea cuestión de la fuerza, sino, la fuerza que hay ahí dentro; es cuestión de ese campo eléctrico, $\pm$ ...// Es como, como las leyes de Newton, no es que la fuerza se deba a que hay una... haya un cambio de...,*** o sea ¿cómo les digo?... no es que el campo gravitacional se debe a que hayan fuerzas, sino, que la fuerza se debe a que hay un campo gravitacional, $\pm$ ... es lo que hay que esté en órbita...
98	(32:11 -33:03) P.F: $\pm$ , ¡entonces!, ** llegaron a que decían, bueno eso es el campo eléctrico, el espacio, el espacio que hay entre, entre cada carga o entre cada...// El campo gravitacional es el que hay entre cada masa y el campo eléctrico es el campo que hay entre cada carga, $\pm$ ...// ¡Entonces!, se hicieron las analogías para que se entendiera...// *** [moviéndose] bueno, llegaron y dijeron: ya entendimos qué es campo eléctrico, en pocas palabras, dijeron: que es lo que crea una fuerza...// Entonces, decían... $\clubsuit\clubsuit\clubsuit\clubsuit$ $\oplus$ Cada carga debe tener sus líneas...***... ¿cómo le digo?, su línea de fuerza, bueno $\pm$ .
99	(33:04 – 33:29) P.F: que una carga positiva...va a tener líneas de campo hacia afuera, $\oplus$ ... ¡sí una carga positiva tiene líneas de fuerza hacia afuera!...// ¿Cómo sería, cómo serían las líneas de fuerza de un campo negativo?

recuerden el efecto producido sobre dos cargas del mismo signo cuando estas se acercan. En efecto, Daniel le comenta a sus estudiantes que “porque nosotros decíamos que... cargas del mismo signo... y esto era la muestra, de que se repelían” [CLA-103] y para darle un mayor sentido a su explicación Daniel acude a contar a sus estudiantes “... ellos la demostraban con experimentos..., dentro de un aceite, ponían dos cargas y se veían las líneas que se formaban...” [CLA-103]. Con esto, hay dos aspectos que quisiera destacar, por un lado, la reincidencia de Daniel en el relato de las decisiones de los científicos, y, por el otro, que en su explicación asocia la salida o entrada de las líneas de fuerza con la idea de repulsión o atracción, tomando como ejemplo el caso de dos cargas eléctricas puntuales positivas, situación que para que tenga mayor credibilidad se relaciona con un experimento que se encuentra en la mente de Daniel pero que lo cuenta, pues lo considera importante para reforzar su idea, ante esto los estudiantes, que escuchan atentamente, no tienen más opción que creer como acto de fe, y en tal sentido podría decirse que el ciclo de enseñanza de un conocimiento acabado se reproduce así: Daniel cuenta un relato de lo que otros decidieron y sus estudiantes deciden creerle la información que él les brinda. Enseñar es entonces transmitir, contar, referir y crear.

Respecto de las líneas de fuerza, en la sesión de estimulación del recuerdo, Daniel hace énfasis que su interés en el momento de la clase “yo no les di el concepto de líneas de fuerza pues este se utiliza como una representación” [ER-90]. Este matiz de representación del concepto de líneas de fuerza deja en un segundo plano la secuencia definición–aplicación, que había expresado anteriormente como fundamental para la enseñanza del campo eléctrico. Y al preguntársele sobre la importancia de enseñar los sentidos de las líneas de fuerza, Daniel comenta:

Puede considerarse que Daniel reflexiona sobre su relato y asume que la mejor forma de referirse a este es que la información que él brindó es “cultural” general, en especial porque se corresponde con lo relatado anteriormente sobre el campo eléctrico como el espacio entre dos cargas eléctricas. Así, la dirección del campo eléctrico que existe entre las cargas eléctricas puede representarse mediante las líneas de fuerza. Su evocación de este evento evidencia también una reflexión sobre la utilidad del concepto de líneas de fuerza, adicionalmente evoca cómo cuando estaba dictando la clase tampoco lo sabía, y aun así siguió con su relato.

Dado que Daniel acude a la idea de cultura, se infiere que saber acerca de líneas de fuerza forma parte del capital académico-cultural de cada

91	(05:51-06:05) P.I: ¿Por qué es importante que sepan que... esas líneas, de una carga positiva salen y de otra entran? ¿Qué quieres que te aprendan con eso?
92	(06:06-06:53) P.F: Pues el...♦...eso es como que^...eso es como de cultura ¿cierto? lo que... dentro de... dentro de eso se encuentra lo que es el campo eléctrico, pero no...// es como ver la representación de... de lo que son líneas de fuerza y... cómo actúan cuando están dentro de... un cuerpo cerca, pero no como tal me dice esto es... para que le sirva en tal vaina... en un cuerpo±... sino que tengo representaciones y que en qué le va ayudar en eso
93	(06:54-07:32) ▶ /: 
94	(Imagen en el tablero) 
98	(Señala al P.I que detenga el video)
99	(07:32-08:04)P.F: era como para ver... como direcciona el campo eléctrico... algo así... porque en el momento tampoco lo supe...// yo dije eso es para ver el campo eléctrico, pero no... en sí... ¿para qué les va a servir? Sino para que analicen desde ahí... cuando están los dos cuerpos o cuando están... cómo sería la dirección del campo eléctrico ahí, algo así ±... entonces a eso es lo que podría referirme para explicar eso

estudiante. Sin embargo, la explicación de las líneas de fuerza no tiene compromisos con contextos específicos de utilización por parte de los estudiantes, argumento asociado a la idea de que este es un conocimiento de cultura “general”, proceso en el cual también se hace relevante que los estudiantes primero diferencien que líneas de fuerza no son vectores y, segundo, que entiendan que las líneas de fuerza representan el campo eléctrico y en particular cómo este se direcciona. En palabras de Daniel “yo les dije a los estudiantes, es para ver el campo eléctrico, pero no especifiqué para que les va servir” [ER-96]. Ya que entender las líneas de fuerza asociadas a cada tipo de carga (positiva, negativa) permitirá analizar el comportamiento de líneas de fuerza cuando se tienen dos cargas eléctricas una al lado de la otra.

## Conclusiones

Una de las características del CDC del profesor de física estudio de caso consiste en asignarle un papel fundamental al conocimiento de contenido conceptual sobre otros conocimientos, de allí que sea importante afirmar que el que sabe física sabe enseñar, o que si el profesor es ordenado entonces es porque sabe física. En este mismo sentido, la didáctica se caracteriza por priorizar los conocimientos conceptuales antes de la experimentación, la cual termina teniendo un papel comprobatorio de lo que se sabe.

Otra característica del CDC en este caso es la de independizar la producción del conocimiento físico por parte del profesor en referencia a quienes se figuran en los libros de texto como inventores de teoría y procesos experimentales. Así, desde la idea de relato, el profesor de física estudio de caso asume que la física que enseña es la física hecha por otros, de manera que solo resulta relevante informar las definiciones de los conceptos, procurando al máximo dejar claro, en su relato, que fueron otros quienes produjeron la idea de campo eléctrico, la de líneas de fuerza y las demás ideas asociadas.

## Referencias

- Abell, S. K. (2008). Twenty Years Later: Does pedagogical content knowledge remain a useful idea?' *International Journal of Science Education*, 30(10), 1405 – 1416.
- Barnett, J. y Hodson, D. (2001). Pedagogical context knowledge: Toward a fuller understanding of what good science teachers know. *Science Teacher Education*, 85, 426-453.
- Carlsen, W. (1999). Domains of teacher knowledge. En: J. Gess-Newsome & N. Lederman. (Ed.), *Examining Pedagogical Content Knowledge* (pp.133-144). Londres: Board.
- Cochran, K., DeRuiter, J. A. y King, R. A. (1993). Pedagogical content knowing: An integrative model for teacher preparation. *Journal of Teacher Education*, 44(4), 263-272.
- Furió, C. y Guisasola, J. (1998a). Difficulties in learning the concept of electric field. *Science Education*, 82(4), 511-526.
- Furió, C. y Guisasola, J. (1998b). Dificultades de aprendizaje de los conceptos de carga y campo eléctrico en estudiantes de bachillerato y de universidad. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(1), 131-146.
- Furió, C. y Guisasola, J. (1999). Concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje en electrostática. Selección de cuestiones elaboradas para su detección y tratamiento. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(3), 441-452.
- Furió C. y Guisasola J. (2001). La enseñanza del concepto de campo eléctrico basada en un modelo de aprendizaje como investigación orientada. *Enseñanza De Las Ciencias*, 19 (2), 319-334.
- Grossman, P. (1990). *The making of a teacher. Teacher knowledge and teacher education*. New York: Teachers College.
- Erickson, F. (1997). Métodos cualitativos de investigación sobre enseñanza. En M. Wittrock (Comp.), *La investigación de la enseñanza, II: Métodos cualitativos y de observación* (pp. 195-294). Madrid: Paidós.

- Etkina, E. (2010). Physics pedagogical content knowledge and preparation of high school physics teachers. *Physics Education Research* 6, 020110 (26).
- Hashweh, M. (2005). Teacher pedagogical constructions: a reconfiguration of pedagogical content knowledge. *Teachers and Teaching: Theory and practice*, 11(3), 273–292.
- Loughran, J.; Berry, A. y Mulhall, P. (2006). *Understanding and developing science teachers. Pedagogical content knowledge*. Rotterdam: Sense Publishers.
- 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 (Ed.). *Examining Pedagogical Content Knowledge. The Construct and its Implications for Science Education* (pp. 95-132). London: Kluwer Academic Publishers.
- Marks, R. (1990). Pedagogical content knowledge: From a mathematical case to a modified conception. *Journal of Teacher Education*, 41(3), 3-11.
- Martin del Pozo, R. y Rivero, A. (2001). Construyendo un conocimiento profesionalizado para enseñar ciencias en la educación secundaria: los ámbitos de investigación profesional en la formación inicial del profesorado. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 40, 63-79.
- Morine-Dershimer, G. y Kent, T. (1999). The Complex Nature and Sources of Teachers' Pedagogical Content Knowledge. En J. Gess-Newsome y N. Lederman, (Ed.). *Examining Pedagogical Content Knowledge. The Construct and its Implications for Science Education* (pp. 21-50). Boston, London: Dordrecht.
- Park, S. H., y Oliver, J. S. (2008). Reconceptualization of pedagogical content knowledge (PCK): PCK as a conceptual tool to understand teachers as professionals. *Research In Science Education*, 38(3), 261-284.
- Reyes, J. D. (2010). Tendencias en investigación en el conocimiento pedagógico de contenido de profesores de física en formación inicial. *Revista de Enseñanza de la Física*, 23(1-2), 7-19.
- Román J. A. (2007). Lo que las metáforas obran furtivamente: discurso y sujeto. *Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research*, 8(2).
- Sears, F., Zemansky, M. y Young, H. (1981). *Física*. Madrid: Editorial Aguilar.
- Segall, A. (2004). Revisiting pedagogical content knowledge: the pedagogy of content/the content of pedagogy. *Teaching and Teacher Education*, 20(5), 489-504.
- Serway, R. (1997). *Electricidad y magnetismo*. México D.F.: Editorial McGraw Hill.
- Stake, R. (1998). *Investigación con estudio de casos*. Madrid: Morata.
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1-22.
- Tamir, P. (2005). Conocimiento profesional y personal de los profesores y de los formadores de profesores. *Teacher and Teaching Education*, 7 (3), 263-268.
- Viennot, L. (1992). Raisonement à plusieurs variables: Tendances de la pensée commune. *Aster*, 14, 127–141.

