# Conocimiento didáctico del contenido en el profesor de Física en formación inicial

# Conocimiento didáctico del contenido en el profesor de Física en formación inicial

*La enseñanza del campo eléctrico*

Jaime Duván Reyes Roncancio

COLECCIÓN
didactica

## Dedicatoria

*A mi familia, que me ha sabido apoyar y comprender pacientemente.*

## Agradecimientos

*Desarrollar esta tesis ha sido un proceso en el que han contribuido diversas personas e instituciones. En primer lugar quiero expresar mi agradecimiento a la doctora Carmen Alicia Martínez, quien con su profesionalismo siempre estuvo atenta a orientar mi trabajo como directora y experta. Agradezco también a los lectores de mis avances, en particular a la doctora Eugenia Etkina, quien además de colaborarme con la validación de instrumentos me apoyó en mi pasantía, vivencia que me permitió cualificar mi trabajo de tesis y mi proceso formativo como investigador en educación y en la formación de profesores de Física. Asimismo, agradezco a María Mercedes Ayala, a Dino Segura y a Álvaro Ramírez por sus aportes en la entrevista para cualificar la hipótesis de progresión, y a la doctora María Cristina Cifuentes y al profesor Fabio Ómar Arcos, quienes con sus reflexiones en entrevistas y comentarios sobre la lectura de los avances posibilitaron nuevas rutas de interpretación.*

*Agradezco también a Daniel (seudónimo), quien con su amabilidad y plena disposición se interesó en participar en las entrevistas, el acompañamiento a la clase y las charlas de reflexión sobre estas.*

*Igualmente agradezco a los profesores de la práctica docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, quienes me facilitaron el acercamiento al colegio de práctica y estuvieron atentos a colaborarme.*

*Quiero hacer explícito el agradecimiento a mi familia: Rocío, Natalia, Erika y Daniel, pues han sido pacientes y colaboradores en todo momento.*

© Universidad Distrital Francisco José de Caldas
© Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico
© Jaime Duván Reyes Roncacio
Primera edición, junio de 2016
ISBN: 978-958-8972-25-1










Dirección Sección de Publicaciones
Rubén Eliécer Carvajalino C.

Coordinación editorial
Nathalie De la Cuadra N.

Corrección de estilo
Lilia Carvajal Ahumada

Diagramación
María Paula Berón R.

Editorial UD
Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Carrera 24 No. 34-37
Teléfono: 3239300 ext. 6202
Correo electrónico: publicaciones@udistrital.edu.co

Reyes Roncancio, Jaime Duván
Conocimiento didáctico del contenido en el profesor de Física en formación inicial / Jaime Duván Reyes Roncancio.
--Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2016.
294 páginas; 24 cm.
ISBN 978-958-8972-25-1
1. Física - Enseñanza - Metodología 2. Campos eléctricos 3. Capacitación docente 4. Formación profesional de maestros de física I. Tít.
530 cd 21 ed.
A1534988

CEP-Banco de la República-Biblioteca Luis Ángel Arango

Todos los derechos reservados.
Esta obra no puede ser reproducida sin el permiso previo escrito de la Sección de Publicaciones de la Universidad Distrital.
Hecho en Colombia

# Contenido


**Introducción** 17

**El profesor de Física y el conocimiento didáctico del contenido** 21

Cuestionamiento a la naturaleza del conocimiento del profesor 21

Conocimiento didáctico del contenido (CDC) 24

*PCK* como integrador de conocimientos 27

El PCK como constructo personal 32

Pedagogía, didáctica y conocimiento didáctico del contenido 33

El CDC en la formación del profesor de Física 38

Componentes del PCK: implicaciones para la investigación 45

CDC y campo eléctrico: organizadores de una hipótesis de progresión 48

Una hipótesis de progresión sobre el CDC para la enseñanza del campo eléctrico 48

*Componente 1 del CDC. Los contenidos: referentes conceptuales e hipótesis de progresión* *49*

*Componente 2 del CDC. Las actividades: referentes conceptuales e hipótesis de progresión* 73
*Componente 3 del CDC. Las ideas de los estudiantes: Referentes conceptuales e hipótesis de progresión* 89
*Componente 4 del CDC. La evaluación: referentes conceptuales e hipótesis de progresión* 100
Análisis global de los niveles de formulación 112
*Nivel acrítico* 112
*Nivel lógico reflexivo* 112
*Nivel innovador* 112
*Nivel reflexivo integrador* 113
El problema de investigación 113

**Referentes metodológicos** **117**

Contexto de la investigación 117
Daniel: el profesor practicante 118
La investigación cualitativa 119
El enfoque interpretativo 121
Perspectiva "no participativa" de la observación 121
Las etapas de la investigación y obtención de los datos 123
Fase declarativa 123
*Texto básico de la encuesta* 123
*Texto básico de la entrevista* 125
La fase de acción 127
Fase de sistematización y análisis 128
Procedimiento de análisis de la información recolectada en los diferentes instrumentos 129
Síntesis del proceso de análisis de contenido: aspectos procedimentales 132

**Resultados y análisis** **135**

Resultados fase declarativa 136

Análisis de las respuestas de la encuesta y la entrevista, y planeación 136

*Resultados y análisis del componente Contenidos* *137*

*Resultados y análisis del componente Ideas de los Estudiantes* *144*

*Resultados y análisis del componente Actividades* *151*

*Resultados y análisis del componente Evaluación* *168*

*Primeras relaciones entre componentes en la fase declarativa* *175*

Resultados y análisis de la fase de acción 176

Resultados y análisis del componente Contenidos 178

*La carga y sus interacciones* *178*

*Fuerza y campo: confluencia de modelos* *179*

*Cierre del tema* *181*

*Placas paralelas* *183*

*Aportes a la hipótesis de progresión* *184*

Resultados y análisis del componente Actividades 186

*Revisar tareas* *186*

*La explicación* *187*

*Las líneas de fuerza: explicación por autoridad* *189*

*Ejercicio de lápiz y papel, la regulación de las ideas* *190*

*Atendiendo las preguntas de los estudiantes* *192*

*Cerrando la clase* *193*

*Aportes a la hipótesis de progresión* *194*

Resultados y análisis del componente Ideas de los Estudiantes 195

*Explicando las placas paralelas* *198*

*La pregunta de las cinco cargas* *199*

*Ideas sobre líneas de fuerza* *203*

*Aportes a la hipótesis de progresión* *205*

Resultados y análisis del componente Evaluación 206

*Evaluar con base en prerrequisitos* *206*

*Evaluar el cumplimiento* *206*

*Evaluar lo informado* *207*

*La previa* *207*
*Aportes a la hipótesis de progresión* *208*
La sesión de laboratorio 208
*Enfoque exploratorio* *209*
*Aportes a la hipótesis de progresión* *211*
La sesión de estimulación del recuerdo [ER] 212
*Resultados y análisis del componente Contenidos [ER]* *212*
*Resultados y análisis del componente Actividades [ER]* *220*
*Resultados y análisis del componente Ideas de los estudiantes [ER]* *224*
*Resultados y análisis del componente Evaluación [ER]* *226*
Resultado global e hipótesis de progresión 227
Del proceso constructivo de la hipótesis de progresión 229

**Análisis general** **231**
Moldear las ideas como mecanismo didáctico 232
Sin la fuerza no hay certeza 234
El valor de la contienda 238
El que sabe... sabe 243
El narrador ausente 247
La búsqueda de la analogía perfecta: estrategia del relato 251
Matemáticas-física: Tensiones propias del campo 256

**Conclusiones** **259**
Componentes del CDC en la planeación de la enseñanza del campo eléctrico 259
Relaciones entre componentes del CDC desde la fase de acción 264
Integración de componentes del CDC 267
Los contenidos conceptuales articulan *267*
Las actividades revelan visiones transmisionistas 268

Las ideas de los estudiantes se deben modificar 269
La evaluación sumativa 271
Algunas consecuencias para propuestas curriculares de formación inicial de profesores de Física 273
Sobre futuras investigaciones en esta línea de indagación 275
**Referencias** **277**

# Introducción

Esta tesis es el resultado de la necesidad de concretar mis trabajos en didáctica y enseñanza de las ciencias, en confluencia con mi vinculación como profesor de planta del Proyecto Curricular de Licenciatura en Física de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Desde 2005 contribuyo a la formación de profesores de Física, contexto en el cual me surgieron multitud de preguntas sobre el devenir del plan de estudios, las prácticas pedagógicas de los futuros docentes y los procesos de formación del área de la didáctica, la física y las matemáticas. Las reflexiones derivadas de mis indagaciones, lecturas y conversaciones con los estudiantes y los profesores me permitieron cuestionar mucho más hasta qué punto los contextos de práctica docente contribuyen a la cualificación didáctica del profesor de Física contemporáneo, marco en el cual el conocimiento didáctico del contenido (CDC) se constituye en un referente trascendental, pues es en el que confluyen los conocimientos profesionales del docente de Física en formación inicial. De allí el interés por contribuir con una tesis sobre la caracterización de este CDC escogiendo el caso de la enseñanza del concepto de campo eléctrico, dado que este reviste gran importancia tanto en los cursos del área de física como en los de formación didáctica y, además, porque las investigaciones al respecto revelan la necesidad de seguir indagando sobre alternativas didácticas para su enseñanza y aprendizaje.

Por lo tanto se formuló el siguiente problema de investigación: *¿Qué caracteriza el CDC de un profesor de Física en formación inicial en el proceso de enseñanza del campo eléctrico en la práctica docente*? Esta pregunta de se fundamenta en los siguientes procesos:

a. *La planeación*.¿Qué caracteriza los componentes del conocimiento didáctico del contenido del profesor de física en formación, en la planeación de la enseñanza del campo eléctrico? Para el caso de los profesores de Física en formación inicial de la Universidad Distrital, no existe un formato único de planeación y, además, este proceso para algunos docentes que dirigen la práctica no resulta importante.

b. *El desarrollo de las clases de física en la práctica docente*. ¿Cuáles son las posibles relaciones entre las características del CDC al desarrollar la propuesta de enseñanza de la física a estudiantes de bachillerato?

c. *El establecimiento de una interpretación de orden sintético*. ¿Qué relaciones entre sus componentes es posible identificar desde una perspectiva integradora del CDC?

Este informe de tesis se encuentra constituido por cinco capítulos a saber:

El capítulo 1 trata el constructo conocimiento didáctico del contenido (CDC) desde una perspectiva de investigación, se describen los principales representantes de esta línea y las aproximaciones que se han hecho en el conjunto de indagaciones sobre la formación de profesores de Física, proceso que contempla una contextualización del CDC para el caso de las diferenciaciones entre pedagogía y didáctica. Estos referentes permitieron fundamentar los componentes del CDC que forman parte estructural de la tesis en relación con la generación de una *hipótesis de progresión*, en que se cruzan los componentes: contenidos, ideas de los estudiantes, actividades y evaluación, con cuatro niveles de formulación. Este capítulo culmina con la propuesta del problema de investigación.

El capítulo 2 presenta los referentes metodológicos utilizados en los que se fundamenta la perspectiva interpretativa que constituye la caracterización del caso de la enseñanza del campo eléctrico por parte del profesor de Física en formación inicial. Se exponen los fundamentos metodológicos que definieron el perfil estratégico desarrollado en las fases de investigación, denominadas fase declarativa y fase de acción, y que facilitaron posteriormente la interpretación de los datos.

El capítulo 3 presenta el análisis y los resultados del desarrollo metodológico, proceso que se expone siguiendo las fases declarativa y de acción. Para la primera se explican los resultados de la aplicación de dos instrumentos de recolección de información, una entrevista y una encuesta, así como el análisis de los documentos de planeación del profesor. Para la segunda fase se explican los análisis desarrollados con la transcripción de la clase sobre campo eléctrico que el profesor practicante desarrolló en un colegio de bachillerato de la ciudad de Bogotá. En cada uno de estos casos el estudio atendió dos niveles, el primero relacionado con el contenido del material, ayudado por el *software* Atlas.ti ®, procesador de texto y hoja de cálculo, y el segundo por caracterizaciones fundamentadas en las anotaciones y los

memos, así como en las citas textuales derivadas de las unidades de información. El capítulo también contempla la caracterización del CDC en relación con la hipótesis de progresión, proceso que se desarrolló para cada fase y de manera global al final.

El capítulo 4 presenta el análisis general del caso de la enseñanza del campo eléctrico en concordancia con los resultados obtenidos y los objetivos de la investigación. Para esto se elaboraron las interpretaciones de la caracterización del CDC acudiendo a la metáfora como estrategia organizadora, que permite comprender cómo los componentes de CDC se encuentran integrados en las metáforas desarrolladas, proceso con el cual también se evidencian sus relaciones intrínsecas. Este trabajo incluyó el análisis de una sesión de estimulación del recuerdo del profesor al revisar la videograbación de su clase sobre el campo eléctrico.

El capítulo 5 presenta las conclusiones de la tesis organizada en primer lugar desde la perspectiva de los ejes obstáculo, cuestionamiento y dinamizadores (DOC), especialmente en relación con los subproblemas de investigación de la tesis. Asimismo, estas conclusiones se integran para cada uno de los cuatro componentes del CDC que se abordaron. Finalmente se presentan algunas consecuencias para propuestas curriculares de formación inicial de profesores de Física, así como posibilidades para futuras investigaciones en la línea de trabajo de la tesis.

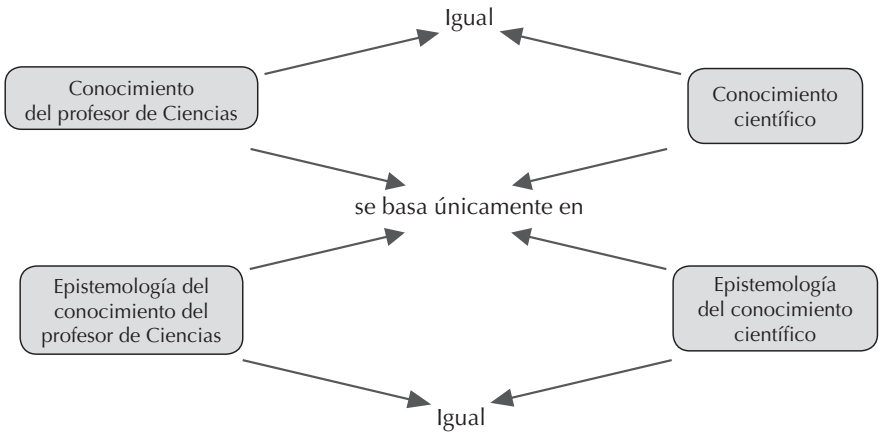
# El profesor de Física y el conocimiento didáctico del contenido

## Cuestionamiento a la naturaleza del conocimiento del profesor

El estudio del conocimiento de los profesores de Física desde la perspectiva profesional se organiza, en primera instancia, como una aproximación que valora los aportes de una epistemología alternativa debido a la naturaleza práctica del conocimiento del docente en relación con su intencionalidad formativa y, en segundo momento, mediante sus vínculos con lo que se denomina el conocimiento didáctico del contenido del profesor, saber que deviene, tanto de su formación académica, como de la reflexión sobre sus procesos de enseñanza. Desde este enfoque conviene preguntarse entonces, ¿qué caracteriza el conocimiento del profesor de Física?

Cuando se cuestiona sobre el conocimiento del profesor, generalmente se dice que debe primero saber ciencia para enseñarla y también saber pedagogía. Pero lo que está detrás de esta afirmación es el hecho de que son condiciones necesarias y suficientes el "poseer" tales conocimientos (científico-pedagógicos) para ser eficiente. Ese sentido de posesión es indiscutiblemente estático, por lo tanto no requiere que el docente de ciencias se considere sujeto epistémico reflexivo. Las investigaciones sobre los maestros no necesariamente comenzaron reconociendo tales aspectos, son famosos los estudios sobre el pensamiento del profesor (Yinger, 1986) orientados en primer lugar a destacar su rol pensante frente a los estudios sobre proceso-producto, que solamente lo veían como sujeto desde y para la instrucción no reflexiva y para las competencias técnicas.

**Figura 1.** Una mirada epistemológica clásica sobre el conocimiento del profesor de Ciencias

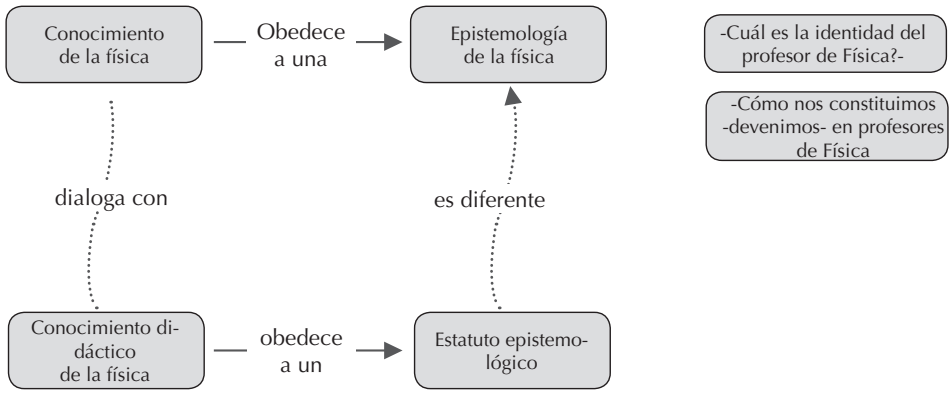



Pues bien, esta mirada del docente como simple transmisor de conocimientos científicos (ver figura 1) o de mediador pasivo (epistemológicamente) entre conocimiento científico y saberes de los estudiantes, se fundamenta en la consideración de la inexistencia de un conocimiento profesional diferenciado del profesor de Ciencias. Sin embargo ¿por qué considerar que este conocimiento existe? ¿Qué utilidad tiene? Además, ¿por qué tener en cuenta la experiencia y la opinión como fuentes de conocimiento del profesor, si estas, en lugar de ayudar, son un obstáculo epistemológico en el cumplimiento de sus funciones? Digamos en principio que se ha podido comprender la existencia de una serie de conocimientos que los profesores han logrado producir, aun sin ellos ser conscientes (Perafán, 2004) de que son sus propios productos y que tendrán unas condiciones de producción, de circulación y validación distintas a las que las epistemologías clásicas han planteado tradicionalmente como conocimiento científico o conocimiento de las disciplinas. Para Chevallard (1997), por ejemplo, es importante cuestionar sobre la existencia antropológica del saber del maestro, en especial al inquirir a la epistemología clásica sobre las características de aquellos saberes que se generan en la sociedad, y que tienen una vida propia. Asimismo, en los últimos sesenta años ha habido una evolución que cuestiona enfoques clásicos a escala epistemológica. En efecto, la idea sobre "el conocimiento" es objeto de estudio y redefinición constante. Moreno (2005), por ejemplo, destaca una breve historia de tales cambios y menciona como Alexander, Shallert y Hare (1991) refieren la idea de conocimiento en términos de un *stock* tanto de vivencias como de creencias y reflexiones de los sujetos, así como de sus destrezas, que componen una especie de "memoria" personal, notando así la existencia de un tejido histórico, social y personal que constituye el conocimiento del profesor y que evidencia una visión compleja de este. En ese sentido, como lo expone Perafán (2004), se distingue un conocimiento de contenido del profesor de Ciencias en la

relación intrínseca y compleja de estructuras teóricas y del mundo práctico —integrado y yuxtapuesto— que proponen una comprensión también compleja de la epistemología de dicho conocimiento.

En esta misma línea cabe reconocer que los conocimientos que interactúan en el trabajo docente (pedagógico, didáctico, físico, matemático, psicológico) no necesariamente distinguen un conocimiento profesional diferenciado del profesor de Física. En este sentido, estos conocimientos "…no lo identifican como productor de un conocimiento particular, sino más bien como reproductor o mediador del mismo" (Perafán, 2012, p. 2074). Esta situación implica la necesidad de revisar el concepto que se tiene sobre el "saber académico" del profesor de Física. Al respecto Perafán (2012) también advierte que: "La transposición didáctica como estatuto epistemológico fundante del saber académico del profesorado, está necesariamente asociada a la comprensión de este saber cómo obstáculo epistemológico. Esto plantea un nuevo desplazamiento de la disciplina como saber fundante" (p. 2085). Para esto, Perafán (2004) ha discutido la idea de obstáculo epistemológico, en lo que se refiere a concebir el saber físico del profesor de Física en el sentido de Bachelard (1998). En efecto, dado que este tiene la intención de enseñar la física, a juicio de Perafán entonces también tendrá que cuestionar aquello que fundamenta su "saber físico" en cuanto al proceso que le es inherente a "enseñar la física" (ver figura 2).

**Figura 2.** ¿Es el conocimiento físico el saber fundante del conocimiento del profesor de Física?




Al respecto Martínez (2000) distingue en la noción de obstáculo características que van más allá de lo racional. En este sentido se cuestionan las visiones absolutistas del obstáculo y se potencia su papel protagónico en la generación de la conciencia del error, por ello no solo debe reconocerse el obstáculo, sino también "movilizadores, dinamizadores" (p. 75).

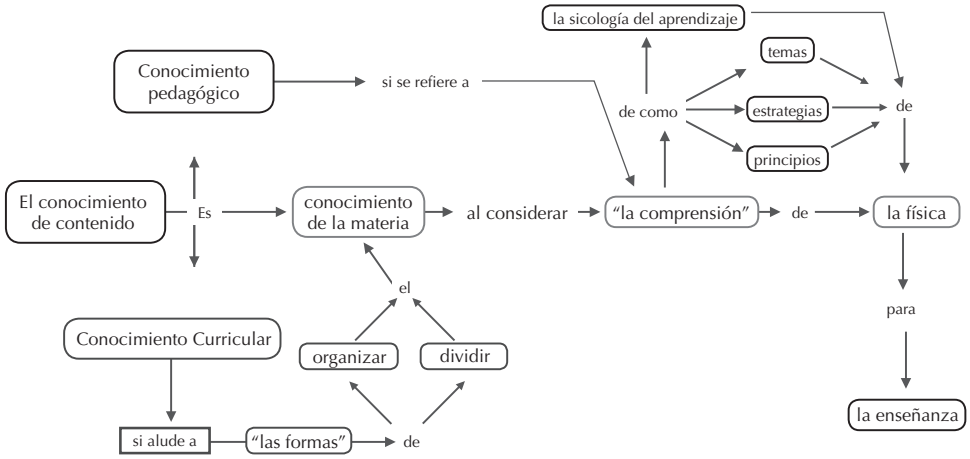
## Conocimiento didáctico del contenido (CDC)

Aunque la obra de Jackson (1968), *La vida en las aulas*, fue pionera en la indagación sobre el pensamiento del docente, al presentar una descripción detallada de algunas de las actitudes profesionales, sentimientos y razonamientos que subyacen a su acción, y ofrecer una manera alternativa de entender la investigación educativa lejos de los intereses fundamentalmente pragmáticos de investigación proceso-producto, no fue sino hasta 1975, durante el congreso National Institute of Education (Clark y Peterson, 1990; Marcelo, 1987) que la preocupación sobre el pensamiento del profesor se constituyó en un programa de investigación de reconocimiento internacional, y se aceptó que el objetivo de sus estudios era "la descripción de la vida mental de los profesores, sus antecedentes y consecuentes" (Marcelo, 1987, p. 14), apoyados en la concepción del "profesor como un agente, un clínico que toma decisiones, reflexiona, emite juicios, tiene creencias, actitudes, etc." (p. 14). Para estos investigadores, los procesos cognitivos del profesor (expectativas, percepciones, juicios, etc.) están influenciados por antecedentes cognitivos, de naturaleza interna (creencias y conocimientos) y externa (indicio y expectativas de rol), y tiene consecuencias directas en la enseñanza. Fue así como desde mediados de la década de los ochenta los procesos autocríticos permitieron el desarrollo del "programa" de investigación hacia posiciones "menos racionalistas y más antropológicas y filosóficas" (Gallego, 1991, p. 288). Se transita, por una parte, de concebir al docente como tomador de decisiones, a considerarlo como profesional "práctico-reflexivo" (Schön,1983/1992); de las preguntas por las cogniciones del profesor a las preguntas por el contenido de dichas cogniciones, y su relación con la enseñanza (Shulman, 1986/1989, 1987/2001; Porlán y Rivero, 1998). En particular Porlán y Rivero (1988) destacaron cuatro aspectos por investigar del conocimiento del profesor: "el saber académico, los guiones y rutinas, el saber basado en la experiencia y las teorías implícitas" (pp. 60-63). La manera como se integran o relacionan estos componentes depende tanto de la madurez de estos conocimientos como de la necesidad de elaborar una síntesis histórica propia que los valide y permita visibilizarlos. Este proceso de reconocimiento de una perspectiva individual del pensamiento del maestro también ha venido evolucionando hacia una visión sociocultural y ecológica (Barnett y Hodson, 2001). Sin embargo dado el interés específico de esta tesis, centraremos la atención en los aportes que han devenido de la perspectiva del conocimiento didáctico del contenido en el contexto del conocimiento profesional del docente.

El Programa del Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) —traducción del inglés del término *Pedagogical Content Knowledge (PCK)*— tiene sus orígenes en la propuesta de Shulman (1984) al referirse a las fallas de los estudios sobre la cognición del profesor y señalar que las falencias de este campo de investigación están en no dilucidar "la comprensión cognitiva del contenido de la enseñanza por parte

de los enseñantes; y de las relaciones entre esta comprensión y la enseñanza que los profesores proporcionan a los alumnos" (Shulman, 1986 en Wittrock, 1997, p. 65). En este sentido, Shulman (1984) destaca tres tipos de conocimiento de contenido (ver figura 3): (a) el conocimiento de la materia, es decir, el conocimiento de la ciencia que se enseña, lo que constituye su comprensión como especialista en un campo; (b) el conocimiento pedagógico, que consiste en el conocimiento tanto de la sicología del aprendizaje como de los factores propios de aprendizaje asociados a la ciencia que se enseña, en el que se pueden formular preguntas como, ¿cuáles son los tipos de problemas de física que tienen más dificultad o aparecen con más frecuencia?, o ¿cuáles son los principios físicos que se comprenden menos? y, (c) ¿cuál es el conocimiento curricular relacionado con el de la administración y organización del conocimiento para la enseñanza?

**Figura 3.** Clases de conocimiento de contenido según Shulman (1984)
Adaptación para el caso del profesor de Física

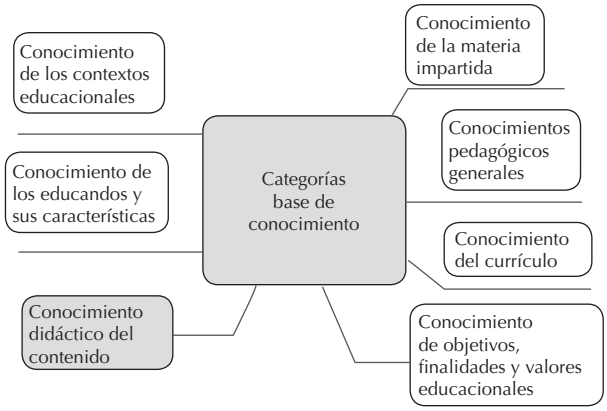



Posterior al planteamiento sobre el "paradigma perdido" en la investigación educativa, Shulman (1986) distingue que el conocimiento del contenido del profesor debe involucrar (no necesariamente en un sentido de canasta que contiene cosas, sino de procesos que le son inherentes) el saber sobre la materia (sustantivo y sintáctico) y el constructo denominado *Pedagogical Content Knowledge (PCK),* entendiendo este último como aquel que "va más allá del conocimiento de la materia per se" (p. 9). y que se refiere a

> los temas más comunes que se enseñan en un área, las formas más útiles de representar las ideas asociadas a tales temas, las más poderosas analogías, ilustraciones, ejemplos, explicaciones y demostraciones, en pocas palabras, las formas de representar y formular los temas de manera que sea comprensible para los demás (p. 9).

El *PCK* también incluye una "comprensión acerca de lo que hace difícil o fácil el aprendizaje de temas específicos: las concepciones y preconcepciones de los estudiantes" (p. 9). Conviene aclarar que el *PCK* se considera como una de las categorías de la base de conocimientos del profesor (ver figura 4).

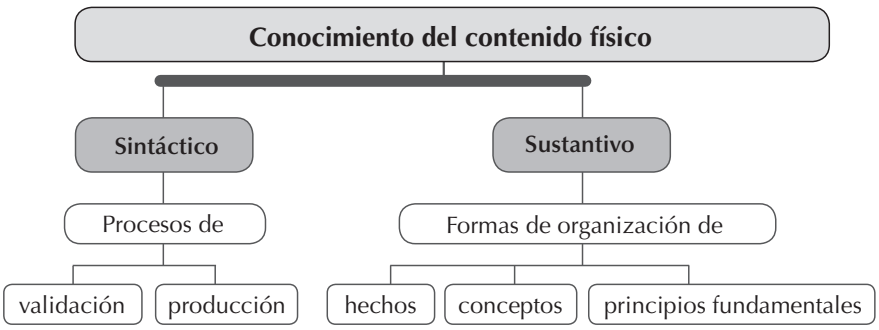
**Figura 4.** Categorías base del conocimiento del profesor




**Fuente:** Shulman (1987, p. 8).

Para el caso de esta tesis, el conocimiento de la física para la enseñanza se refiere a un conocimiento tanto sustantivo como sintáctico de esta (Schwab, 1978) (ver figura 5). El primero (sustantivo) se refiere a conocer los principales conceptos y hechos de la física, sus interrelaciones así como las maneras en que se organizan sus principios fundamentales. El segundo (sintáctico) se refiere a saber cuáles son los fundamentos que orientan la investigación en la física, es decir, cómo se produce y valida el conocimiento físico.

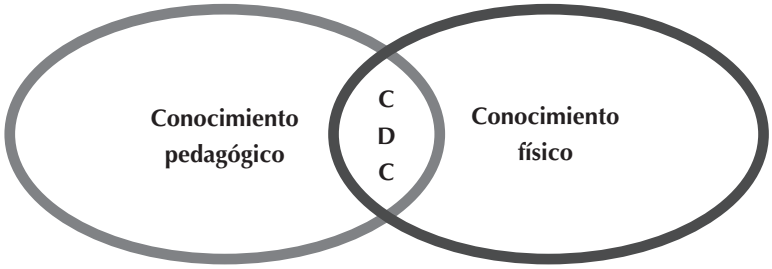
**Figura 5.** Conocimiento del contenido sustantivo y sintáctico



En sus inicios, para Shulman (1984) existían dos componentes principales del *PCK*: las representaciones del conocimiento de la materia y la comprensión sobre el aprendizaje de los estudiantes. Ambos estaban basados en una perspectiva global que consideraba tanto al conocimiento de la materia como el de pedagogía general.

Sin embargo a esta distinción de componentes del *PCK* le asiste una perspectiva de transformación vía la interpretación del conocimiento (para este caso pedagógico y de física). En efecto, la propuesta de Shulman (1986) considera la idea del *PCK* como una "especial amalgama entre materia y pedagogía que constituye una esfera exclusiva de los maestros, su propia forma especial de comprensión profesional" (p. 9). Al respecto Xiaoyan (2007) ha señalado cómo los presupuestos de Dewey se pueden evidenciar en la base de la propuesta de Shulman (1986), y en tal sentido esa perspectiva puede compararse analógicamente con el planteamiento de McEwan (1987) del concepto de "Pedagogical Interpretation" como "las modificaciones del contenido de la enseñanza en relación con el conjunto de creencias de los estudiantes" (pp. 167-168 en Xiaoyan, 2007, p. 87). Esta idea de transformación está mediada por la analogía de la amalgama como una mezcla de dos cosas (ver figura 6) cuya naturaleza es diferente, en tal sentido el *PCK* se construye tanto de la transformación del contenido con propósitos didácticos, como de la organización de las estrategias y formas que favorecen su comprensión en los estudiantes. Así las cosas, la amalgama surge como un nuevo conocimiento de naturaleza también diferente a la de las dos cosas que la formaron, es decir, el *PCK* es un nuevo tipo de conocimiento

**Figura 6.** Las primeras consideraciones del CDC como una unión —amalgama— entre conocimiento pedagógico y de la materia

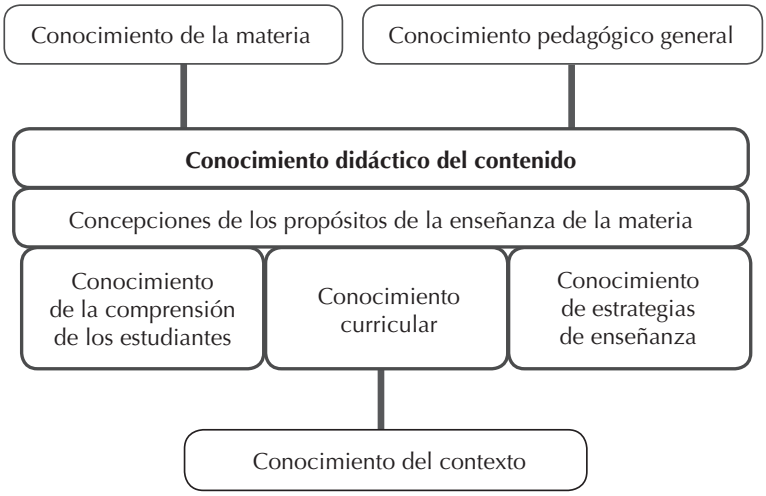



## *PCK* como integrador de conocimientos

Ahora bien, la idea de componentes del *PCK* también ha venido evolucionando, en este sentido Grossman (1990) integra cuatro componentes centrales (ver figura 7): (a) El conocimiento y las creencias sobre los propósitos de la enseñanza de las materias en diferentes niveles de grado, lo que involucra un saber sobre la naturaleza de lo que se enseña, así como la importancia que este tiene para los estudiantes; (b) el conocimiento de las comprensiones de los estudiantes, las concepciones y los

errores conceptuales sobre temas particulares en una materia; (c) el conocimiento del currículo, que incorpora la comprensión del material curricular como libros de texto y otros, y (d) el conocimiento tanto de las estrategias de enseñanza como de las representaciones para la enseñanza de temas particulares. Sin embargo estos componentes no son los únicos para Grossman, de hecho cinco años más tarde propuso dos componentes adicionales (Grossman, 1995): conocimiento del contexto y de uno mismo.

**Figura 7.** Componentes del PCK

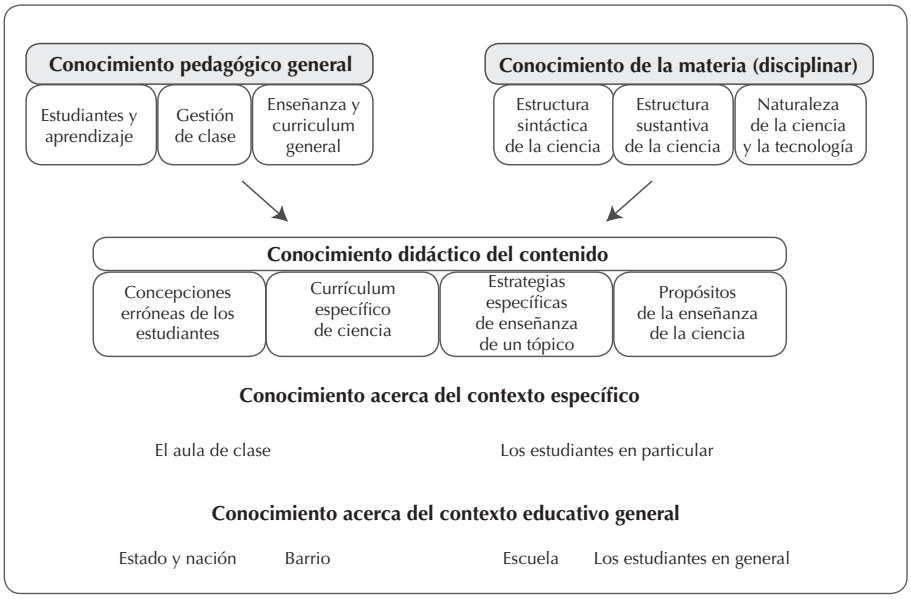



**Fuente:** Grossman (1990, p. 5).

En un sentido crítico sobre el origen del *PCK,* Carlsen (1999) comenta las implicaciones de verlo desde dos enfoques principales; el primero es el contexto estructuralista en el que el conocimiento es fijo y externo a los profesores y a los estudiantes (p. 140) y, además, se considera puro y lejos de estar influenciado por aspectos históricos y sociales. El segundo es el contexto posestructuralista, que puede ser visto críticamente dado que cuestiona el origen del *PCK* en asociación con la necesidad de empoderar políticamente al profesor, ya que carecía de representaciones estructurales, y por otro lado invita a la investigación sobre la supuesta neutralidad ideológica del docente.

Con todo, Carlsen (1999) ve el PCK desde una perspectiva más integradora, en la que los componentes dinamizan una visión de profesor como sujeto que integra una comunidad. Para Carlsen (1999) una visión holística del conocimiento del profesor involucra: (a) el conocimiento pedagógico general; (b) el de la materia; (c) el didáctico del contenido; (d) el del contexto específico, y (e) el del contexto general (ver figura 8).

**Figura 8.** Dominios del conocimiento del profesor



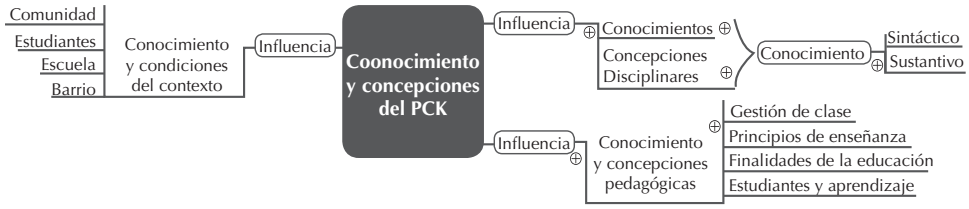

**Fuente:** Gess-Newsome y Lederman (1999, p. 136).

Estos desarrollos del *PCK* cuestionan ante todo el conocimiento profesional del maestro como aquel que va más allá del pedagógico o disciplinar.

Hasta el momento se han señalado aportes en la constitución de un *PCK* ya sea como conocimiento integrador o como resultado de la integración de saberes del profesor. En lo que sigue se describen las perspectivas que validan tanto la importancia de las concepciones del docente como sus finalidades. Estos dos nuevos elementos, que se explicitan en la literatura, manifiestan el interés por cualificar mucho más el *PCK* en lo teórico así como en la manera en que ha devenido como sujeto epistémico. En particular se presentarán aquellas elaboraciones que aportan en tal proceso para el caso de los profesores de Ciencias.

Los primeros autores que comienzan a plantear la importancia de las concepciones de los profesores en relación con el *PCK* son Magnusson, Krajcik y Borko (1999), quienes atribuyen un papel relevante tanto al conocimiento como a las concepciones que estos tienen sobre su saber profesional. En este sentido distinguen como parte de este conocimiento a: (a) el conocimiento y las concepciones disciplinares; (b) el conocimiento y las concepciones pedagógicas; (d) el conocimiento y las concepciones del contexto, y (e) el conocimiento y las concepciones sobre el *PCK*, el cual conviene anotar, también es ubicado por estos autores como centro de la estructura del conocimiento profesional (ver figura 9).

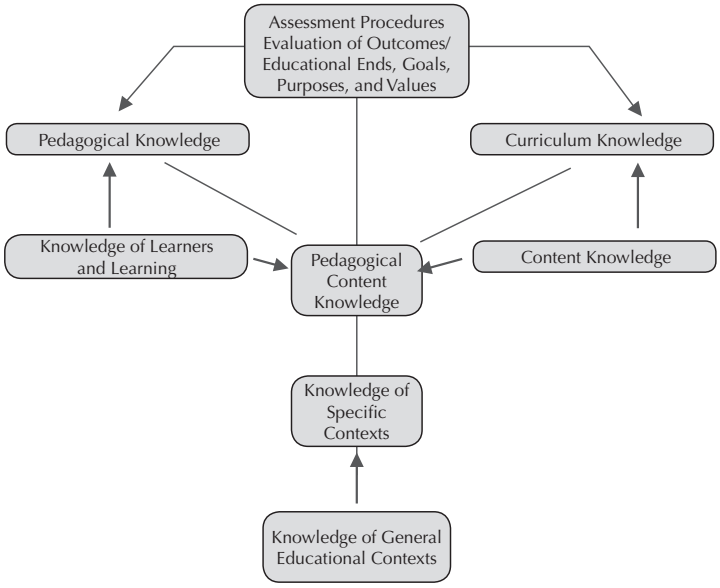
**Figura 9.** Magnusson, Krajcik y Borko (1999) proponen una estructura del conocimiento profesional del profesor desde la perspectiva de Grossman




**Fuente:** Gess-Newsome y Lederman (1999, p. 98).

Ahora bien, respecto a las finalidades y la evaluación en educación, Greta Morine-Dershimer y Todd Kent (1999) estructuran su propuesta (ver figura 10) considerándolos como componentes del *PCK* y del conocimiento profesional del docente. Su perspectiva evoca también los aportes de Carlsen (1999) en cuanto a los tipos de contexto (general y específico). Cabe anotar que las finalidades de la educación le dan un lugar preponderante, al contrario de la propuesta de Magnusson, Krajcik y Borko (1999), en la que esta forma parte del componente denominado conocimiento y concepciones pedagógicas.

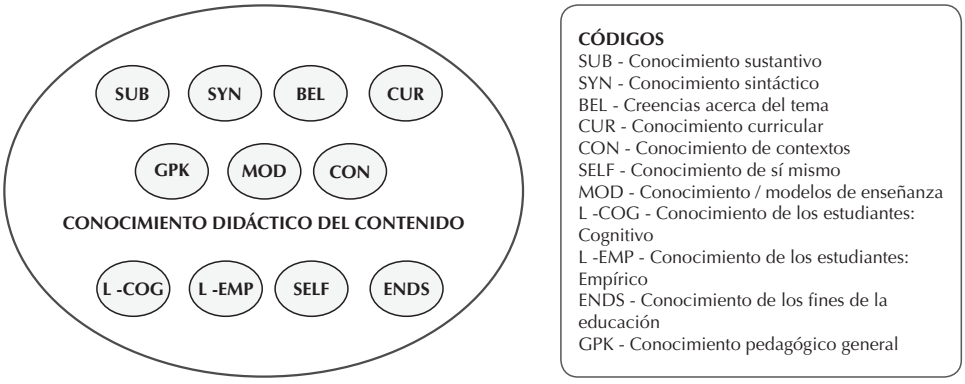
**Figura 10.** Morine-Dershimer y Kent (1999) plantean los componentes del conocimiento profesional del docente




**Fuente:** Gess-Newsome y Lederman (1999, p. 22).

Los desarrollos en *PCK* evidencian una evolución en la que se destaca la transición de fuentes de conocimiento desde sus orígenes, con dos principales, hasta hoy día cuando el *CDC* se considera —para el caso de algunas áreas— como constructo en el que intervienen más de diez componentes (Turner-Bisset, 1999) Esta autora reconoce en principio la perspectiva de Shulman sobre el *PCK* como una "amalgama", sin embargo destaca más componentes que los de Shulman. En efecto, dado que su propuesta se enfoca en las bases del conocimiento para la enseñanza, Turner-Bisset plantea la idea del *PCK* como un conjunto que contiene once conocimientos de base, lo que es a su juicio "el ejemplo más completo del conocimiento Didáctico de Contenido, en donde todos los conocimientos de base están presentes en la amalgama" (p. 47). Esta autora insiste en la necesidad de continuar investigando los siguientes aspectos del *PCK:* la noción clave de representación, que podría decirse es la suma de todas las bases de conocimiento en acción; la idea de bases de conocimiento como conjuntos interactivos; la de que a veces solo algunas de las bases de conocimiento trabajan juntas; el que todas las bases de conocimiento están presentes en la amalgama, y que las bases de conocimiento son las nueve décimas de la parte sumergida del iceberg" ( p. 125). Llama la atención en esta propuesta que se considere el conocimiento de sí mismo como de base, esto se entiende tanto en lo profesional como en lo laboral, aun cuando estudios anteriores (Elbaz, 1983; Lampert, 1984; Nias, 1989; McIntyre, 1992; Kagan, 1992; Grossman, 1995) también lo destacan. Por último conviene decir que la perspectiva de "amalgama" resulta más orientada hacia la integración de relaciones —que habría que investigar— que a la suma de componentes (Turner-Bisset, 2001) dado que: "Así, se argumenta que todas estas bases de conocimiento son esenciales para una enseñanza más experta, lo cual demuestra el conocimiento didáctico del contenido en su forma más completa" (p.19) (ver figura 11).

**Figura 11.** Bases del conocimiento para la enseñanza




**Fuente:** Turner-Bisset (1999, p. 47).

Otros aspecto que conviene mencionar sobre la evolución del PCK consiste en el cambio entre la perspectiva de sumar, por una de transformación, puesto que este constructo adquiere un nuevo matiz cuando se asume como la integración de las fuentes de conocimiento o como conocimiento integrador *per se*.

## El PCK como constructo personal

Tamir (2005) plantea una mixtura interesante en "… la interacción entre lo personal y lo profesional…" que "… parece haber resultado en una única clase de conocimiento que puede ser designada como personal-profesional de la enseñanza" (p. 9), pero también advierte sobre la influencia de factores como "experiencias generales de vida, por ejemplo, la vida de familia, los viajes, la vida en comunidad, el servicio militar" (p. 5). Y es que ya desde los aportes de Connelly y Clandinin (1988, 1997) se ha mostrado que los profesionales en general, y en particular los profesores, construyen en la reflexión sobre la práctica una serie de principios que responden de mejor manera a las demandas de esta, que lo que sucede con algunos de los principios emanados del conocimiento clásico instrumental.

En otros términos: cuando un ingeniero civil construye un edificio se encuentra con una cantidad de problemas que la práctica en concreto le demandan y que no puede resolver no porque haya sido un mal estudiante, sino porque aunque pueda traer todo su bagaje de principios técnicos para resolverlos, estos no responden a los problemas particulares pues pertenecen a una dimensión distinta, entonces el ingeniero tiene que llamar al obrero para determinar cómo encontrar la solución. En todas las profesiones ocurre generalmente esto, el alcance de la formación centrada en la materia (física, para nuestro caso), emanada de una concepción científica, clásica y tradicional tiene unos límites que son las demandas de la práctica profesional en la vida cotidiana. En el caso de los profesores, estas demandas se relacionan con lo que autores como Connelly y Clandinin (1988, 1997) han denominado *personal practical knowledge* en la vida cotidiana de la escuela, en el sentido de que el conocimiento no es algo que se encuentra únicamente "en la mente" de los docentes, sino que es también activo y vive en la experiencia.

El maestro de Física como profesional produce una serie de principios y de saberes en su práctica, estos responden de mejor manera a las demandas mismas de su labor en relación con los principios de otras disciplinas, produciéndose un saber que tiene como estatuto fundante la práctica profesional, y reconociéndose como un conocimiento en la acción y sobre la acción, aun cuando el profesor no sea necesariamente consciente de estos, sino que pertenecen al conjunto de sus teorías implícitas. Es decir, el conocimiento práctico profesional del docente tendría también un carácter polifacético que resulta de la integración de las dimensiones de la experiencia (Connelly y Clandinin, 1997) del maestro en la escuela y obviamente en relación con su vida.

En este trabajo de tesis el *PCK* se comprende como un constructo personal con características asociadas a la enseñanza de los contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales. Constructo que deviene no solamente de la manera como ha sido formado el profesor, sino que se reconstruye constantemente en la medida en que se reflexiona y cuestiona, ya sea por indagación autónoma o por medio de terceros. En este sentido esta perspectiva dialoga con líneas de investigación sobre conocimiento y competencias del profesorado (Furió-Más y Furió-Gómez, 2009). Asimismo, el *PCK* forma parte del conocimiento profesional del docente y, para el caso que nos ocupa, estructura la acción didáctica del profesor de Física. Por ello, el *PCK* requiere ser caracterizado a partir de sus componentes y las relaciones entre estos, de manera que este proceso contribuya tanto en la formación inicial como continua de los profesores de Física.

## Pedagogía, didáctica y conocimiento didáctico del contenido

Debido a que en nuestro contexto educativo las reflexiones investigativas acerca de la enseñanza de contenidos se entienden como fundamentales para la didáctica y no necesariamente para la pedagogía, se hace necesario precisar una distinción conceptual entre estos dos campos, por lo menos a manera de referencia general. Pues bien, desde el enfoque de Lucio (1989) la didáctica es entendida como un conocimiento del profesor que "…tematiza el proceso de instrucción, y orienta sus métodos, sus estrategias, su eficiencia… La didáctica está entonces orientada por un pensamiento pedagógico, ya que la práctica de la enseñanza es un momento específico de la práctica educativa" (p. 3). Así la comparación con la pedagogía se hace a la luz de los intereses de lo que esta se propone en cuanto a "cómo educar", por ello la pedagogía es la ciencia que orienta la labor del educador, mientras que la didáctica orienta un aspecto específico de ella: su labor como docente. En este sentido la didáctica se pregunta cómo enseñar y se constituye en "ciencia de la enseñanza" que según Lucio (1989):

> … tiende a especializarse fundamentalmente en torno a áreas o parcelas del conocimiento. Se habla así de una didáctica general, como también de una didáctica de las matemáticas o de las ciencias sociales, de una didáctica de la enseñanza secundaria o de una didáctica del trabajo científico (p. 3).

Ahora bien, esta idea de la didáctica es también retomada por Vasco (1990) al considerarla "… no como la práctica misma de enseñar, sino como el sector más o menos bien delimitado del saber pedagógico que se ocupa explícitamente de la enseñanza" (p. 4). Aunque este planteamiento posiciona a la didáctica en relación con una parte o "sector" del saber pedagógico, puede destacarse también que diferencia entre el hecho mismo de la práctica, o administrativo de esta, con el conocimiento que la orienta.

Los aportes hasta el momento considerados, corresponden a contextos locales y obedecen a un momento de la historia de la década de los noventa. Sin embargo la didáctica desde una perspectiva contemporánea va más allá de su uso como adjetivo propio de una mirada asociada con la linealidad y la sistematicidad, de manera que se toma ahora como sustantivo en cuanto enfatiza en el estudio en profundidad de los "fenómenos de enseñanza-aprendizaje, en relación con un contenido de aprendizaje bien especificado" (Astolfi, 2001, p. 74).

Para Astolfi (2001) la didáctica se diferencia de la pedagogía "… por el enfoque de los saberes, como punto de vista director, más que por los métodos" (p. 79), puesto que precisamente la didáctica "… no se sitúa directamente en el plano de la aplicación de los saberes académicos cuyas condiciones de transmisión examina" (p. 79). En este sentido, Astolfi (2001) rescata los trabajos de Bronckart (1989) en relación con las tres generaciones de la didáctica:

a. Una primera de corte tradicional en la que se asume la autoridad academicista de los contenidos por enseñar, así como de los objetivos de enseñanza, es entonces un didacta que protege la pureza de los contenidos de la ciencia y de las técnicas de su enseñanza.

b. Una segunda generación que se fundamenta en los principios de la teoría cognitiva del proceso enseñanza-aprendizaje, para garantizar el desarrollo individual centrado en una enseñanza por problemas que demanda también tareas de orden meramente cognitivo al estudiante, dejando a un lado los factores sociales del contexto. La diferencia con la anterior también radica en que su forma de asumir la relación con las disciplinas científicas de referencia tiene un carácter "menos mecánico".

c. La tercera discute, precisamente, este préstamo con las disciplinas científicas de referencia, en el que se deja a un lado la ortodoxia aplicativa de los conceptos científicos *per se* y se discute su selección concretando aquellos que deberán ser contextualizados en la elaboración de "nuevas estrategias de acción". En ella la selección del didacta está mediada por el criterio de lo que mejor se adapte a los "objetivos pedagógicos definidos" (Bronckart, 1989, citado en Astolfi, 2001, p. 80), aspecto que permite configurar aproximaciones más consistentes con la perspectiva investigativa del conocimiento del profesor, y que en particular contribuye a la caracterización de dicho conocimiento tanto en la formación inicial como en las reflexiones sobre el desempeño profesional del maestro.

La idea de un conocimiento didáctico y un conocimiento pedagógico en el profesor de Física en formación inicial no puede ser entendida en disyuntiva necesariamente, sino en el sentido de complementariedad. Sin embargo esto no es óbice para continuar con el proceso de construcción de sus distinciones. Según Astolfi (2001), por ejemplo, una diferencia clara entre la pedagogía de las ciencias y la didáctica de

las ciencias es que la primera en un tiempo hacía referencia a "métodos generales de enseñanza" (p. 74), y en tal sentido no asumía ningún compromiso con la enseñanza de contenidos de aprendizaje específicos. Por ello, considerar un conocimiento didáctico del contenido tiene mucho sentido a la luz del surgimiento de las didácticas específicas, orientadas por un conocimiento pedagógico, pero no necesariamente supeditadas en estricto a este. Así, la idea de conocimiento didáctico de contenido se entiende desde la perspectiva del conocimiento involucrado en el proceso de enseñanza y muy estrechamente ligado al trabajo profesional de coadyuvar en los procesos de comprensión de los estudiantes, en particular de los tipos de contenidos conceptuales, actitudinales y procedimentales asociados a las disciplinas de las ciencias que se enseñen. Ello permite, adicionalmente, discutir la comprensión que se haga del conocimiento didáctico del contenido (CDC) en relación con sus posibles diferenciaciones con lo que en el contexto anglosajón se distingue como *Pedagogical Content Knowledge (PCK),* aspecto que se revisará posteriormente.

Ahora bien, Astolfi (2001) organiza una caracterización de la didáctica de las ciencias considerando, en primer lugar, el hecho de que esta se centra en "campos conceptuales delimitados", es decir que, por ejemplo, en el caso de la didáctica de la física un foco de atención estaría en los problemas de la enseñanza aprendizaje de contenidos conceptuales de la física, como lo es para la presente tesis el del campo eléctrico. En segundo lugar, Astolfi (2001) señala las "prácticas de referencia" específicas asociadas a una nueva mirada de la transposición didáctica de los contenidos de la enseñanza, por ejemplo en el caso del campo eléctrico como contenido *per se* de la física, este no se toma como contenido por sí mismo de la enseñanza, puesto que hay que construirlo yendo más allá de una simple reducción o "simplificación descendente", y esta construcción depende del nivel de enseñanza en el cual se quiera desarrollar. Y en tercer lugar, como consecuencia del punto anterior, señala Astolfi (2001), se reconoce que hay que "crear conceptos nuevos", (por ejemplo contrato didáctico, objetivo, meta de comprensión, objetivo obstáculo, representación) aspecto que siempre ha sido necesario pero que, en este caso, debe explicitarse en atención a la didáctica como disciplina.

Como puede colegirse, la didáctica de las ciencias adquiere hoy día una connotación particular producto no solo de la necesidad de reflexionar sobre la enseñanza a escala general, sino más bien sobre la enseñanza de contenidos específicos de las ciencias (Bowen, 1975; Berger, 1979; Yager y Kahle, 1982; Bauman, 1983; Klopper, 1983; Tiberghien, 1983 y 1985; Welch, 1985; Yager y Penick, 1983; Linn, 1987; Cañal y Porlán, 1988; Jiménez, 1988; Furió y Gil, 1989; Aliberas, Gutiérrez e Izquierdo, 1989; Viennot, 1989; Porlán, 1993; Gil, 1994 y 1996; Martínez, 1998; Porlán, 1998; Becker, 1988, Adúriz e Izquierdo, 2002). Así, con Martinand (1987) la corriente francesa rescata posibilidades de entender la didáctica como disciplina a partir de los siguientes elementos:

a. Un "registro epistemológico" que se pregunta por los saberes que son consecuencia del análisis de los contenidos de "dominio empírico", así como de las situaciones didácticas adecuadas a los niveles de funcionamiento del pensamiento.

b. Un "dominio psicológico" que indaga principalmente a los estudiantes en cuanto a los contextos propicios para que aprendan.

c. Un "registro pedagógico" que busca atender el problema de la innovación, es decir, que cuestiona a las instituciones y a los profesores sobre las condiciones generales y particulares que serían necesarias para su desarrollo innovador.

Debe reconocerse que esta discusión es también central en la forma como el docente en formación inicial considera la didáctica de la física, es decir, en relación con su CDC. En efecto, Astolfi (2001) recuerda que en el "triángulo didáctico" (saber-enseñante-alumno) ninguno de estos tres componentes, por sí solo, define la didáctica, pero esta no se define en ausencia de alguno de ellos. En este sentido, la pregunta por el CDC del profesor de Física en formación se localizaría en uno de los vértices (enseñante) de este triángulo como enfoque investigativo central, pero expresa de manera indirecta los otros vértices.

Ahora bien, Reyes (2010) evidencia cómo los trabajos de investigación recientes sobre CDC, tanto en las publicaciones de corte anglosajón como aquellas de la corriente iberoamericana, para el caso de la formación de profesores de Física, no diferencian explícitamente la didáctica de la pedagogía, y mucho menos hacen alusión a diferenciaciones entre *PCK* y CDC. Sobre los trabajos en *PCK* en el caso de formación de profesores se encuentra que la literatura de referencia es, en general, la misma que la de CDC, lo que si aparece en algunos trabajos (Marcelo, 1992 y Bolívar, 2005) es un recuento subsecuente de cómo se ha venido entendiendo el *PCK* como una traducción del CDC, situación que se constituye en una contextualización de este, en la que pueden reconocerse la coexistencia de elementos que, al parecer, no tienen discusión, a saber:

1. La consideración de un conocimiento profesional del docente cuya base epistemológica trasciende la mera consideración de equivalencia con el conocimiento disciplinar de la ciencia que enseña y del conocimiento pedagógico como tal.

2. La pertinencia de investigar las formas particulares en que este conocimiento (CDC, *PCK*) se constituye en el sujeto epistémico profesor.

3. El validar la existencia (implícita o explícita) de este conocimiento en los sujetos que se encuentran en proceso de formación para profesores.

4. La perspectiva de indagación (longitudinal o transversal) de este conocimiento tanto en los profesores en formación como los que están en el ejercicio docente.

5. La posibilidad de validar este conocimiento como propio del profesional de la enseñanza, para el caso que nos ocupa en este momento, del profesor de Física en formación inicial.
6. El considerar que hay que investigar este conocimiento para mejorar o reflexionar sobre lo que se enseña y se aprende en la clase de ciencias. Es decir, la pretensión de validez se basa, entre otras cosas, en la cualificación de los procesos tanto de formación como de mejoramiento continuo en el ejercicio de la profesión docente.
7. La perspectiva de Shulman (1986, 1987, 2001) es referencia base en todos los trabajos de *PCK,* en el sentido de considerar la idea de transformación de los contenidos de conocimiento, en la que se integra el propósito de hacer comprensible este conocimiento a los estudiantes.

Por tanto, cuando se habla de la docencia como una profesión conviene preguntarse si el conocimiento profesional del maestro estaría ajeno a procesos como poner en común, educar y enseñar. La respuesta indudablemente es que no, sin embargo esto no implica que cualquier profesional necesariamente sea profesor. A la profesión docente le compete la enseñanza y por tanto no podemos hablar de que todo el mundo enseña. Un físico, por ejemplo, puede ser profesor de Física, pero tiene que devenir profesor de Física, y para que esto suceda debe dejarse mediar por la intencionalidad de la enseñanza, la cual se organiza en términos de la opción en la que se ha constituido un sujeto históricamente. En efecto, si un físico es profesor de Física debe mediar, entonces, la transformación didáctica, la práctica profesional, los guiones y las rutinas. La intencionalidad no es sicológica sino cultural, histórica, mediada institucionalmente. A esto se refiere devenir en profesor de Física como profesional de la docencia.

Desde el punto de vista epistemológico, el conocimiento profesional de los maestros de ciencias es un campo de estudio que aporta elementos teóricos fundantes en la caracterización de su naturaleza y origen, en tanto que permite distinguir algunos elementos constitutivos de este conocimiento (ver figura 5) en relación con su intencionalidad formativa. Los aportes de perspectivas de corte epistemológico y más bien de orden pragmático, que aportan a este campo de investigación, se interesan por el reconocimiento de su carácter práctico (Connelly y Clandinin, 1987), que media las acciones en el aula, así como de su carácter evolutivo basado en enfoques reflexivos (Schön, 1992) y por ende profesionales de corte complejo (Porlán y Rivero, 1998). Estos enfoques son en definitiva una apuesta por considerar que el profesor piensa y actúa (consciente o inconscientemente) mediado por la relación entre su conocimiento pedagógico, el del contenido de las ciencias y el del contexto, es decir que

> El profesor inevitablemente transforma el contenido en algo, un contenido enseñable que tiene su propia lógica y estructura, y tiene sentido para los alumnos. El conocimiento que ayuda a que se produzca esta transformación del conocimiento incluido en el currículo escolar, en algo que tenga sentido para los alumnos, es a lo que denominamos Conocimiento Didáctico del Contenido —CDC— (Stengel, 1992, p. 7 en Bolívar, 1993, p. 8).

Se ha mencionado hasta el momento la necesidad de reconocer al constructo CDC en el marco del conocimiento profesional del docente, basado fundamentalmente en referencias de corte investigativo en el ámbito anglosajón. Sin embargo este tema también ha sido abordado en otros contextos. Así, algunos autores (Marcelo, 1992; Bolívar, 1993; Benejam, 1993; Mellado, 1996) coinciden en destacar que la propuesta inicial de Shulman (1986) consideró las pretensiones de la materia que se enseña, las valoraciones que se hacen del currículo, las estrategias (uso de analogías, la ejemplificación, las explicaciones, las demostraciones) de enseñanza así como los avances y las dificultades comprensivas de los estudiantes. Mellado (1996) en particular ha destacado al CDC como un conocimiento constituido por componentes estáticos (teoría de la ciencia, didácticos específicos y psicopedagogía) y dinámicos (conocimiento de sí mismo, reflexión personal y práctica de la enseñanza).

En este sentido también se manifiesta la preocupación por los procesos de formación del profesor, especialmente al cuestionar las tendencias que validan una formación profesional que hace poco énfasis en conseguir que los docentes en formación piensen sobre la materia que han de enseñar en cuanto a sus contenidos didácticos. Esto por un lado permite discutir la posibilidad de caracterizar el CDC de los futuros profesores desde una perspectiva en la que las didácticas específicas (Bolívar, 1993) adquieren un significado importante, especialmente en relación con su necesaria diferenciación con el conocimiento pedagógico general.

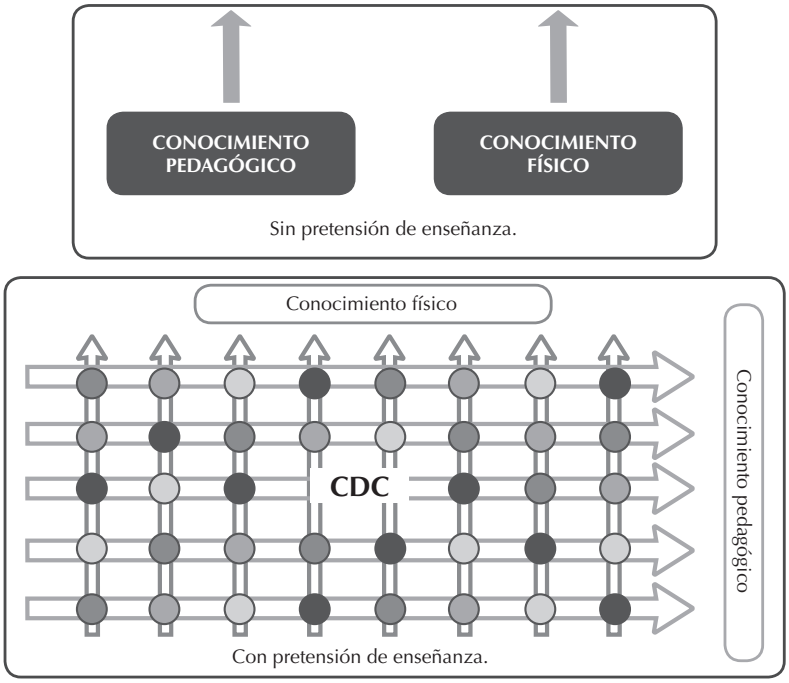
Por último, conviene aclarar que debido a la relación entre enseñanza y aprendizaje de los estudiantes se pueden establecer cuestionamientos sobre la aparente necesidad del CDC de centrarse en el primero de estos procesos. Sin embargo, como se ha venido presentando, el CDC en el componente de ideas del estudiante implica considerar tal relación.

## El CDC en la formación del profesor de Física

Dado que la discusión sobre pedagogía, didáctica y CDC ha permitido identificar categorías investigativas no del todo diferenciadas, en el presente trabajo se continuará con esta conclusión en especial debido a que el propósito principal no es construir la teoría del CDC sino, más bien, coadyuvar en su elaboración por medio de la investigación al centrarse en caracterizar un caso particular de enseñanza de la física. Adicionalmente, es importante declarar los siguientes aspectos:

1. En este trabajo se considera que el profesor de Física en formación inicial construye un conocimiento pedagógico general que no necesariamente está en alguna perspectiva didáctica. Es decir, a este conocimiento pedagógico le son inherentes las discusiones sobre las teorías de la enseñanza y el aprendizaje en general, estudios en los cuales la psicología desempeña un papel importante, pero esto no necesariamente implica el enfoque didáctico en cuanto no está atado a los contenidos de enseñanza de la física
2. Este trabajo cree que el CDC del profesor de Física en formación inicial se construye en la integración del conocimiento pedagógico general con el conocimiento de la física, cuando se asumen procesos de enseñanza de esta.
3. Se comparte aquí la perspectiva sobre el carácter integrador del CDC, que se vuelve relevante o adquiere sentido de reflexión cuando de enseñar física se trata. En efecto, cuando los profesores de Física en formación inicial toman los cursos de pedagogía y de física, lo hacen generalmente de forma independiente y fragmentada, lo cual implica que los primeros sean asumidos sin contenidos físicos y los segundos sin contenidos pedagógicos, traduciéndose esta situación en una especie de formación sin pretensión de enseñanza (ver figura 12).

**Figura 12.** Conocimiento didáctico del contenido como integrador del proceso de pretensión de enseñanza



En este sentido y en concordancia con la idea básica de Shulman (1986), la noción de CDC surge de manera explícita como confluencia entre los conocimientos pedagógicos generales y los conocimientos físicos en la pretensión de enseñanza de la física. Es aquí cuando el conocimiento didáctico también deja de ser herencia o copia de la pedagogía sin relación directa con contenido alguno de la física, y pasa a constituir el conocimiento didáctico del contenido como tal. Para el caso que nos interesa en esta tesis, se reconoce esta mutua dependencia entre pedagogía y didácticas, y en especial en lo referente a la búsqueda de una construcción coherente de procesos formativos de docentes que expliciten y fundamenten la pretensión de enseñanza. En este sentido, los estudios sobre formación inicial y conocimiento de profesores novatos revelan la falta de una reflexión significativa del maestro sobre su propio conocimiento para la enseñanza y, además, destacan que este mismo proceso metacognitivo posibilita mejores comprensiones del conocimiento de la disciplina que se enseña.

Reconociendo la existencia de múltiples investigaciones en *PCK* (Grossman, 1990; Carlsen, 1999; Magnusson, Krajcik y Borko, 1999), a partir de la propuesta de Grossman (1990) y Morine-Dershimer y Kent (1999) y teniendo en cuenta a Gess-Newsome y Lederman (1999) así como los trabajos en CDC de Marcelo (1992), Bolívar (2005) y Valbuena (2007), la comprensión del *PCK* como análogo al CDC no es únicamente un asunto de traducción literal de términos del inglés al español desde una perspectiva traslacionista (Doyle, 1992), en la que lo pedagógico se considera didáctico, sino que viene precisamente de las valoraciones que se hacen de los términos en contextos de investigaciones particulares y que son característicos del devenir histórico en ámbitos diferentes. Así, se coincide aquí con Gees-Newsome y Lederman (1999) cuando se afirma que los enfoques del CDC de orientación transformadora parecen reconocer las dinámicas de las acciones del profesor y de las relaciones entre los componentes de su conocimiento profesional (Valbuena, 2007). Esto permite también considerar al CDC en un sentido dinámico-constructivo, lo que en términos de Hashweh (2005) se podría distinguir como *teacher pedagogical constructions*, y que a juicio de Bolívar (2005) permite comprender el conocimiento didáctico del contenido como:

> […] una colección de "construcciones didácticas", específicas para cada tópico, que puede ser examinada en los diversos componentes que la configuran (conocimiento curricular, del contenido, creencias sobre la enseñanza-aprendizaje, conocimientos y creencias didácticas, conocimientos del contexto y recursos, metas y objetivos) (p. 9).

En este arreglo el *PCK* se constituye en un conocimiento didáctico que difiere de los desarrollos de la didáctica general en cuanto no casa con una visión instrumentalista de sus principios y, por lo tanto, no resulta una didáctica especial como se hizo notar en la perspectiva germánica ("Spezielle Didaktik") hace un tiempo. Por lo tanto el *PCK* se correspondería más bien con los principios de las didácticas específicas

("*Fachdidaktik*") acudiendo a los métodos concretos de una materia y a las condiciones en que estos se producen, conocimiento que resulta de la combinación entre el saber disciplinar y el pedagógico general (Gudmundsdottir y Grankvist, 1992, en Van Dijck y Kattmann, 2007).

Sin embargo conviene mencionar que Van Dijck y Kattmann (2007) advierten diferencias entre el *PCK* y *Fachdidaktik*, en especial llaman la atención sobre la perspectiva cultural e histórica que está en la base de las pretensiones de estos constructos. Discuten que considerar a *Fachdidaktik* como un constructo personal (como el *PCK*) sería una especie de reduccionismo inadecuado, puesto que *Fachdidaktik* puede ser visto como una disciplina científica que procura mostrar las preguntas sobre los dominios en los cuales la ciencia y la educación se unen en torno a los procesos de transferencia del conocimiento a los alumnos, y en tal sentido se puede entender que el *PCK* sería un campo de estudio en el ámbito de la investigación de *Fachdidaktik* (p. 890).

De acuerdo con Reyes (2010), las investigaciones sobre el *PCK* del profesor de Física en formación inicial abordan principalmente: (a) la modelación; (b) el enfoque de traducción-transformación del PCK; (c) la perspectiva evolutiva operacional del *PCK*, y (d) la perspectiva del desarrollo del PCK en el contexto de formación. Sin embargo algunos trabajos se interesan por la caracterización del nivel de *PCK* de los profesores en formación. La síntesis de estos trabajos se ilustra en la tabla 1.

Estas investigaciones también revelan un interés por los componentes del PCK en relación con los contenidos conceptuales de la física. Particularmente se encuentran trabajos enfocados en el estudio del *PCK* en termodinámica y, específicamente, con las concepciones que tienen los profesores en preservicio sobre el conocimiento físico al discutir, por ejemplo, su carácter matemático y abstracto. Se tratan aquí conceptos físicos como calor, temperatura y energía, así como las concepciones micro- o macroscópicas. Ahora bien, otro concepto físico de interés encontrado fue el de la gravedad, ya sea desde la perspectiva de la transformación del conocimiento científico o con la idea de evolución del PCK. En ambos casos el trabajo de Nicholson (2001) distingue como componente del PCK las actividades educativas usadas para ayudar a los estudiantes en el aprendizaje de contenidos basados en el criterio de representación. Esta se constituye en componente esencial a la hora de facilitar las comprensiones de los estudiantes. Desde la perspectiva de la modelación la idea de gravedad también es tratada en los trabajos de Ogan (2006), en los que el reconocimiento de un modelo asociado a las fases de la Luna se toma como ejemplo del desarrollo del *PCK* en los profesores en preservicio.

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

**Tabla 1.** Componentes del PCK en las investigaciones sobre formación de profesores

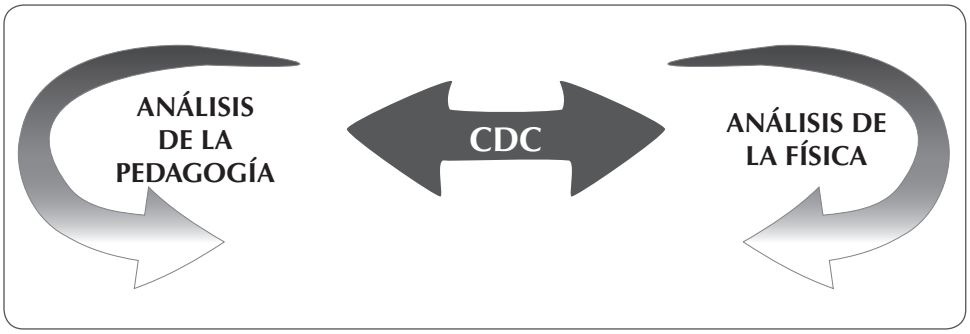
| **PCK en la formación del profesor de Física, perspectiva de la investigación** | | |
|---|---|---|
| **Enfoque *PCK*** | **Investigadores** | **Contenidos conceptuales** |
| La modelación en el enfoque de traducción-transformación del PCK. | Sperandeo-Mineo, Fazio y Tarantino (2006). | Física térmica, relaciones entre fenómenos observables, como propiedades macroscópicas térmicas de la materia y sus interpretaciones o explicaciones en cuanto a características corpusculares o de la teoría termodinámica (ver figura 13). |
| | Ogan (2007) | Sobre la Luna, sus fases y otros fenómenos lunares, y en segundo lugar respecto a los efectos de la enseñanza basada en modelos de las concepciones de los profesores en formación, entendidas estas últimas como modelos mentales. |
| La perspectiva evolutiva del PCK. | Veal, Tippins y Bell (1999). | Movimiento lineal (velocidad, rapidez y aceleración), el calor y la termodinámica mediante el uso de varios métodos pedagógicos. |
| | Veal *et al*. (1999). | *Learning to teach´locution*. Creencias de los profesores de Física en formación sobre la física y sobre su enseñanza. Conceptos de calor y temperatura: *Factor, Energy and Transfer*. |
| Perspectiva de desarrollo del PCK en el contexto de formación. | Nicholson (2001). | Comprensiones que sobre la gravedad dieron los profesores en preservicio en el contexto de la órbita planetaria y las formas particulares en las que ellos representaban sus ideas de gravedad a sus estudiantes. |
| | Halim y Subaham (2002). | 1) conocimiento de las comprensiones de los estudiantes, sus conceptos así como sus errores conceptuales, y 2) el conocimiento sobre las estrategias y representaciones inherentes a la enseñanza de tópicos particulares. |
| | Ineke van der Valk, Leite y Thoren (1999). | Presentan aspectos que relacionan las dificultades conceptuales sobre calor y temperatura, que los profesores en formación esperan que sus pupilos tengan, con las que ellos mismos tienen o han tenido. |

**Fuente:** Adaptada de Reyes (2010).

En este mismo sentido, incluir la modelación en las investigaciones sobre *PCK* para este caso, evidencia una estrecha relación con el enfoque de transformación del conocimiento científico. Este se basa en distinguir la modelación como estrategia de pensamiento y la forma de organizar las explicaciones sobre los fenómenos, que usualmente se entiende asociada a la ciencia. Por lo tanto se considera que el desarrollo del *PCK* de profesores en preservicio debería favorecer la modelación (Ogan, 2006) de manera que esta les permita en su futuro profesional comprender mejor su acción en el aula y, por ende, cualificar la modelación en sus pupilos. La transformación es aquí entendida tanto desde la perspectiva de los contenidos conceptuales de la física, como de las estrategias utilizadas en la ciencia como lo es la modelación (ver figura 15). Investigaciones que coinciden con los trabajos de Veal *et al*. (1999) reconocen el *PCK* en el marco del conocimiento profesional del docente en preservicio, como un saber susceptible de ser desarrollado desde enfoques evolutivos basados en la reflexión sobre experiencias de aula.

Es decir, van más allá de distinguir un CDC particular, de manera que la transformación tenga un enfoque más integral y trascienda la sola traducción literal del conocimiento científico.

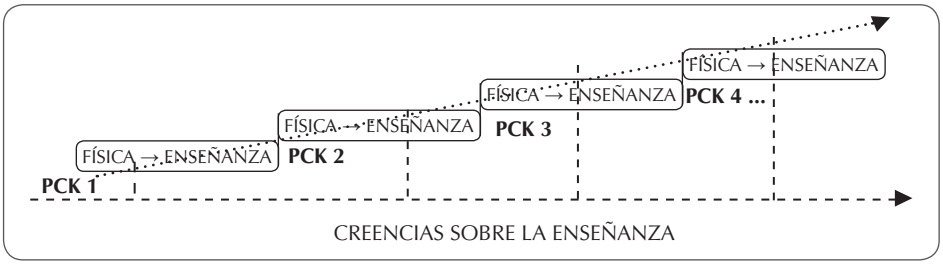
**Figura 13.** Conocimiento pedagógico del contenido del profesor de Física en formación inicial con base en Sperandeo-Mineo *et al.* (2006)




**Fuente:** Reyes (2010, p. 9).

Por otro lado, los trabajos que se agruparon desde un enfoque de evolución del PCK (Veal *et al.*, 1999) aunque también acogen la idea de la traducción no centran su atención específicamente en este aspecto, sino que plantean la posibilidad de mostrar la evolución del PCK (ver figura 14) en profesores de preservicio, a medida que se investiga. Desde esta perspectiva se comprende la existencia de un CDC en los futuros profesores y se trata de intervenir como investigadores para mostrar su evolución.

**Figura 14.** Representación del PCK del profesor de Física en formación inicial con base en la interpretación de las investigaciones de Veal (1999)




**Fuente:** Reyes (2010, p. 13).

En cuanto a la última categoría de trabajos en que también se pretende revisar el desarrollo del PCK en docentes de preservicio, su agrupación se valida respecto a que plantean la posibilidad de hacer este tipo de desarrollos en los espacios académicos de formación inicial del profesorado. Esto los hace diferentes en cuanto a que exponen la idea de cuestionar los currículos de formación de maestros desde la mirada del PCK.

Las investigaciones reportadas en Reyes (2010) evidencian que la caracterización del PCK ha evolucionado desde una perspectiva general como la de los presupuestos de Shulman (1986) hacia una más concreta en lo que respecta a propuestas de mejoramiento, cualificación o desarrollo del conocimiento didáctico de los profesores de Física en formación. En este sentido, se aprecia que algunos trabajos tienen un enfoque del PCK como habilidad del profesor para hacer comprensibles los conocimientos físicos a sus estudiantes; esta especie de capacidad del docente por hacer la transposición didáctica se valora en los procesos de formación y se procura cualificar. Los resultados también evidencian una diversidad relativa en los centros de atención de los investigadores, que involucra el interés por favorecer algunos componentes del PCK en relación con la termodinámica, la gravitación y el movimiento. De igual forma, se destacan los aportes en la conceptualización del PCK que algunos de los investigadores mencionan como referente teórico (Veal, 1999).

Otros trabajos no hacen explícita una perspectiva concreta de PCK, pero vislumbran un interés por contemplar algunos aspectos de contexto que de cierta manera propician la reflexión sobre el PCK como un conocimiento y no como una habilidad. Estos proponen que los programas de formación de profesores de Ciencias se concentren en desarrollar tópicos específicos del PCK en los futuros maestros, y adicionalmente que las universidades podrían trazar el puente entre los institutos de educación y aquellos de formación en ciencias. Este tipo de vínculos podría ayudar a los futuros profesores a entender como el PCK puede ayudarles en los procesos de enseñanza de las ciencias así como en el aprendizaje de sus estudiantes. De esta

manera, la investigación diferencia PCK de *Content Knowledge* (CK) y propone alternativas de promoción de ambos tipos de conocimiento desde la perspectiva de la interacción y del intercambio de saberes. No es pues una investigación en un marco meramente cognitivo del conocimiento físico de los futuros profesores de Física, ya que se aclara que tales investigaciones ponen demasiado énfasis en establecer la serie de conocimientos físicos errados que los profesores adquieren en su formación, poniendo al PCK en el foco de la investigación en educación.

## Componentes del PCK: implicaciones para la investigación

En este marco general de investigación se ubica el desarrollo de la presente tesis, orientada a la caracterización del conocimiento didáctico del contenido de profesores de Física en formación inicial para el caso de la enseñanza del campo eléctrico en el bachillerato. En este trabajo de caracterización se considera al PCK como un constructo (Abell, 2008; Carlsen, 1999; Grossman, 1990) cuyo desarrollo teórico ha permitido configurar el estudio por medio de los componentes del PCK, aun cuando no se tiene una perspectiva unificada sobre estos.

Sin embargo, tal como se ilustra en la tabla 1, no hay una postura unificada en la comunidad investigativa sobre los componentes del PCK. Esto ha permitido, en últimas, una flexibilidad relativa a la hora de investigar así como de considerar el PCK en la formación de profesores. Para el caso de la formación de profesores de Física, Etkina (2010) propone los siguientes componentes:

a. Orientaciones hacia la enseñanza: Concepciones sobre el papel de las ideas previas de los estudiantes y su aprendizaje, el propósito en la solución de problemas, el papel de los conocimientos sobe el currículo en física. El conocimiento de la secuencia de los temas, que permita a los estudiantes construir la comprensión de un nuevo concepto o habilidad considerando lo que ya saben.

b. Conocimiento de las ideas de los estudiantes: El conocimiento de las ideas de los estudiantes, previas a la instrucción, cuando ellos construyen un concepto. Saber cuáles son las dificultades que los estudiantes puedan tener al interpretar el lenguaje de la física en su diferencia con el lenguaje de la vida diaria.

c. Conocimiento de estrategias efectivas de enseñanza: Conocimiento de múltiples métodos o secuencias específicas de actividades que favorezcan el éxito en el aprendizaje, así como la habilidad para seleccionar las estrategias más productivas o modificar una para un grupo de estudiantes en especial o para un solo individuo.

d. Conocimiento sobre métodos de evaluación: Conocimiento de formas de evaluar a los estudiantes acerca de las comprensiones conceptuales, la solución de problemas y las habilidades científicas generales; y sobre cómo ayudarlos a autoevaluar su trabajo, así como en el desarrollo de reflexiones significativas (Etkina, 2010, p. 020110-3).

e. Experimentos en la clase, la motivación de los estudiantes, etc.

**Tabla 2.** Componentes del PCK como constructo emergente

| | Shulman (1987) | Tamir (1988) | Grossman (1990) | Marks (1990) | Smith and Neale (1989) | Cochran, *et al.* (1993) | Geddis *et al.* (1993) | Fernández-Balboa and Stiehl (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) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Currículo | | ■ | ■ | | | | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | ■ | ■ |
| Contenidos | | | | ■ | | ■ | | ■ | | | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Ideas de los estudiantes | | | | ■ | | | | | ■ | | | | | | ■ | | ■ |
| Comprensión de los estudiantes | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | | | ■ | ■ | |
| Estrategias de enseñanza y representaciones | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | ■ | | ■ | ■ | ■ |
| Evaluación | | ■ | | ■ | | | | | | ■ | | | | | | ■ | ■ |
| Propósitos de la enseñanza | | | ■ | | ■ | | | ■ | ■ | ■ | | | | ■ | ■ | ■ | |
| Organización y secuenciación de lecciones | | | | | | | | | | | | | ■ | | | | ■ |
| Contexto | | | | | | ■ | | | ■ | ■ | | | | | ■ | ■ | |

**Fuente:** Adaptado de Park y Oliver (2008).

Como se aprecia, los componentes del PCK desde la perspectiva de Etkina (2010) retoman la propuesta de Magnusson *et al*. (1999), sin embargo dado el objetivo de esta 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:

1. Contenidos: Incluye el conocimiento del concepto campo eléctrico, así como la selección y secuenciación (considerando el currículo) de los conceptos asociados en el proceso de enseñanza. Es decir, este componente principalmente se refiere a los contenidos conceptuales (campo eléctrico), los procedimentales y los actitudinales que el profesor planea y desarrolla en clase al enseñar el concepto de campo eléctrico.

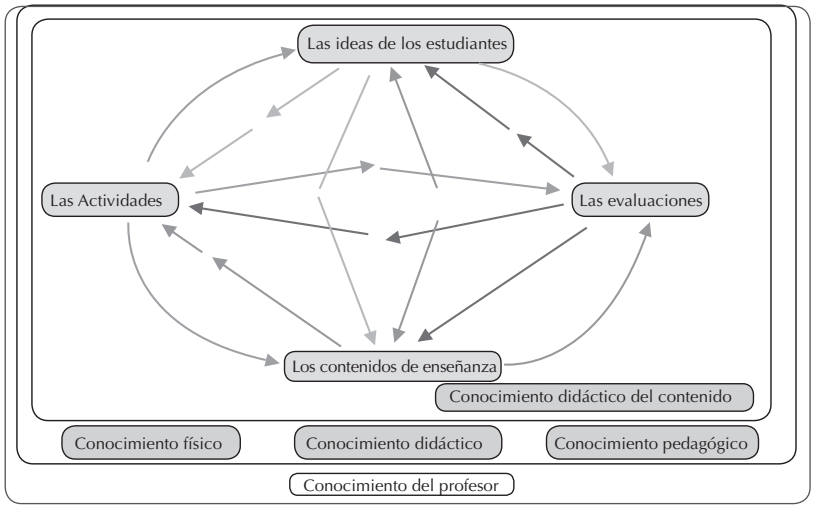
2. Actividades: Incluye el conocimiento sobre el desarrollo de las tareas y actividades de enseñanza en las que el profesor involucra a los estudiantes. Este componente se refiere a las acciones concretas que el profesor desarrolla en la clase tales como ejercicios de lápiz y papel, explicaciones, representaciones, discusiones, presentaciones, exposiciones, laboratorios, talleres, puestas en común, entre otras.

3. Ideas de los estudiantes: Se refiere al conocimiento del profesor sobre las ideas previas o alternativas de sus estudiantes acerca del campo eléctrico y al conocimiento sobre sus dificultades en la comprensión de este.
4. Evaluación: Incluye el conocimiento sobre los procesos, formas y estrategias de evaluación, principalmente indagados aquí desde dos perspectivas generales como son la evaluación sumativa y la evaluación formativa.

La selección de estos cuatro componentes obedece entonces al potencial descriptivo y propositivo respecto a la caracterización del PCK para el caso concreto de estudio, su relación directa con otros componentes propuestos en esta línea de investigación (ver tabla 2) y la coherencia con las propuestas de formación de profesores de Física que incluyen explícitamente al PCK en sus contenidos (Etkina, 2010). Estos componentes permiten configurar la orientación de la enseñanza del profesor de Física en formación inicial desde una perspectiva integral y no como un componente adicional, razón por la cual no se agrega explícitamente en el estudio.

Ahora bien, la perspectiva de investigación de estos componentes tiene principalmente un enfoque integrador ya que, si bien se reconoce la necesidad de caracterizar cada uno de estos en profundidad en el caso de la enseñanza del campo eléctrico, también se supone que cada uno de estos componentes en forma aislada no son el CDC. Metodológicamente se analizarán tanto de manera individual como en su integración (figura 15), teniendo como referente una matriz estilo hipótesis de progresión (García, 1998) que permite configurar el mapa integrado del CDC para este caso.

**Figura 15.** PCK, Construcción de los resultados de las interacciones de sus componentes que se organizan en forma de jerarquía, donde C: contenidos, I: ideas de los estudiantes, A: actividades y E: evaluación



Adicionalmente, la selección de estos cuatro componentes permitirá comprender de manera mucho más integral la orientación de la enseñanza del profesor de Física para el caso de estudio en el campo eléctrico. En efecto, este criterio se fundamenta, a diferencia de la propuesta de Etkina, en poder mostrar las características de la orientación de la enseñanza por medio del establecimiento de las relaciones entre los componentes seleccionados. Las orientaciones de la enseñanza serían aquí transversales al CDC.

## CDC y campo eléctrico: organizadores de una hipótesis de progresión

Como estrategia de indagación de la tesis, el trabajo documental desarrollado permitió acudir a los fundamentos investigativos que soportan la generación de una hipótesis de progresión sobre la didáctica del campo eléctrico. Así, se organizan a continuación los referentes teóricos que están en la base de la generación de la propuesta en relación directa con un conocimiento didáctico del contenido del profesor de Física asociado a la enseñanza del campo eléctrico. Luego se presenta un análisis global de la hipótesis de progresión que recoge las características asociadas a la consistencia interna y la coherencia entre los niveles de complejidad.

## Una hipótesis de progresión sobre el CDC para la enseñanza del campo eléctrico

El concepto de hipótesis de progresión tiene como fundamento un criterio de organización, secuenciación y jerarquización de los contenidos escolares. En este sentido García (1998) propone a la hipótesis de progresión en relación con "dimensiones y categorías meta disciplinares relativas a la transición desde un pensamiento simple hacia otro complejo" (p. 154). La organización tiene en cuenta criterios sicológicos, sociológicos y epistemológicos de manera que "el conocimiento escolar se entiende como un conocimiento organizado y jerarquizado, procesual y relativo, como un sistema de ideas que se reorganiza continuamente en la interacción con otros sistemas de ideas…" (García, 1998, p. 151).

Este enfoque de uso de niveles para "una organización dinámica del conocimiento escolar, mediante propuestas de transición de unos niveles u otros...". (García, 1998, p. 151), se utiliza en la presente tesis considerando de manera similar una propuesta estructural de CDC del profesor de Física en formación inicial. Así, al organizar la hipótesis de progresión sobre el CDC del profesor asociado a la enseñanza del campo eléctrico se considera la perspectiva compleja de los componentes del CDC, de manera que los elementos de la hipótesis de progresión se organizan en torno a la enseñanza del concepto de campo eléctrico.

La didáctica del campo eléctrico es el eje. Esta hipótesis de progresión que se construye aquí no se concibe en estricto como la única forma de referenciar la evolución del CDC del profesor de Física, sino más bien como una manera de comprender su complejidad a partir de los niveles de formulación establecidos. En este sentido

Porlán y Rivero (1988) señalan que la hipótesis de progresión no es una camisa de fuerza en la que los sujetos no tienen más posibilidades que seguir caminos lineales en la construcción de su conocimiento, por el contrario, su carácter flexible la hace cambiante, al fin y al cabo, una hipótesis funciona como un entramado de elementos y relaciones que constituyen el conocimiento, para este caso el CDC. Desde esta perspectiva Martínez y Rivero (2009) muestran que *dependiendo, tanto del aspecto analizado, como del momento dado, se puede caracterizar una tendencia como cercana a un nivel de complejidad o a otro, quedando claro que no todos los aspectos analizados se identifican en el mismo nivel de complejidad*. Diferentes investigadores toman como referente la hipótesis de progresión (HDP) al referirse a la diversidad de concepciones. En este sentido es importante resaltar que la HDP no es concebida de manera lineal o como una receta algorítmica, sino que se organiza de menor a mayor complejidad como una manera de mostrar el estado del CDC del profesor de Física, pero permite hibridaciones entre sus niveles de formulación y, entre otras cosas, puede contribuir a "… evidenciar la diversidad de concepciones; asumir la formación de profesores y el conocimiento profesional como un proceso dinámico y cambiante" (Obregoso, Vallejo y Valbuena, 2014, p. 86). Así, la hipótesis de progresión desarrollada en esta tesis contempla cuatro niveles de referencia, a saber:

a. Acrítico (no reflexivo; el CDC se asimila con el transmisionismo).
b. Reflexivo lógico (el CDC se construye por imitación de propuestas de terceros).
c. Innovador (el CDC se construye en oposición al transmisionismo, pero con el centro por el interés de los estudiantes, lo componentes tienen esta orientación focalizada).
d. Reflexivo integrador (el CDC se construye en la integración de los componentes).

En lo que sigue se describen los fundamentos conceptuales que permitieron configurar la organización de la hipótesis de progresión a partir de los componentes del CDC para el caso del profesor de Física, y en relación con la enseñanza del campo eléctrico. Es importante resaltar que este proceso de construcción estuvo enriquecido con las discusiones sostenidas con investigadores expertos en didáctica de la física, a quienes se les hizo una entrevista semiestructurada que permitió cualificar la propuesta que a continuación se presenta. Los entrevistados son profesores investigadores con experiencia en la formación de futuros profesores de Física y en la enseñanza de esta. Las fases más importantes del proceso de construcción se pueden apreciar en el apéndice I.

## *Componente 1 del CDC. Los contenidos: referentes conceptuales e hipótesis de progresión*

Un fundamento investigativo sobre el componente específico de los contenidos de la materia por enseñar ha sido tratado por Marcelo (1992) al considerar que: "Los profesores principiantes tienen dificultades para seleccionar qué contenido enseñar" (p. 21). En efecto, Marcelo (1992) reconoce que tanto en los primeros años de

experiencia como en los de formación inicial, los profesores manifiestan en sus entrevistas la urgencia por definir temas para enseñar, pero sin criterios de selección y secuenciación. Así, existe una preocupación manifiesta por cumplir con los programas, los temarios o las planeaciones de los ministerios de Educación, pero esto no viene acompañado de un nivel reflexivo sobre la pertinencia de unos o de otros, y de la organización de acuerdo con criterios específicos. En particular para Marcelo: "Se comprueba que la falta de formación sobre cómo establecer prioridades en la selección de contenidos lleva al profesor principiante a intentar enseñar todo el programa y por tanto a sobrecargar de contenidos a los alumnos" (1992, p. 22).

El estudio de este componente del CDC considera lo referente al trabajo en el que el profesor en formación selecciona y jerarquiza —es decir, organiza— los contenidos con algún criterio y, en tal sentido, determina una secuencia de enseñanza de estos. En este caso, los contenidos para la enseñanza tienen referentes tanto de la formación académica del profesor, como de los libros de texto en el terreno de la electricidad. La secuencia que organice también arroja información relevante acerca de las prioridades que les da a los tipos de contenidos: conceptuales, actitudinales y procedimentales.

Para el caso de la formación de profesores de Física, Etkina (2010) considera este componente como conocimiento sobre el currículo en física, lectura que no necesariamente se puede hacer en un sentido amplio del término currículo, pero que manifiesta también la necesidad de distinguir si los contenidos seleccionados y secuenciados consideran aspectos relacionados con la organización curricular del contexto de enseñanza, de las políticas educativas (estándares) y de los medios como los libros de texto. En este sentido, el estudio de este componente puede evidenciar las formas particulares que el profesor practicante utiliza para transformar el contenido físico en la enseñanza del campo eléctrico.

En el terreno de la investigación en didáctica de las ciencias, una aproximación del conocimiento profesional y escolar recogida Martínez (2000) destaca algunas características de las formas en las que los profesores toman los contenidos. Estas se sintetizan en los siguientes aspectos:

1. El predominio de los contenidos conceptuales, y con pocas relaciones entre ellos (Gallager, 1991, citado por Porlán y Rivero, 1998; Martín del Pozo, 1994).
2. La visión absolutista, acumulativa y fragmentaria (Martín del Pozo, 1994; Porlán, Rivero y Martín del Pozo, 2001).
   2.1. La visión aditiva de los contenidos (García y Cubero, 2000).
   2.2. La visión lineal y simple tanto de la materia como de la enseñanza (Lederman, Gess-Newsome y Latz, 1994, citados por Porlán y Rivero, 1998).

2.3. La no correspondencia entre los contenidos que se planean y las secuencias propuestas, así como el radicalismo al apegarse a lo planeado (Zembal-Saul, Blumenfeld, y Krajcik, 2000).

2.4. La secuencia lineal acumulativa atiende a la lógica disciplinar (Porlán *et al.,* 2000).

3. El centro en el profesor, en el texto y en la lógica disciplinar.

3.1. La primacía de lo lógico sobre lo sicológico (Barquín, 1993, citado por Porlán *et al.,* 1997).

3.2. La planeación centrada en contenidos y muy poco en procedimientos, aunado a la postura acrítica de los profesores sobre los contenidos conceptuales expuestos en el texto (Sánchez y Valcárcel, 1990).

3.3. La no correspondencia entre dificultades comprensivas de los estudiantes y la manera como son presentados los contenidos por parte de los profesores siguiendo la lógica disciplinar (Sánchez y Valcárcel, 2000).

3.4. El centro en el profesor como protagonista y poseedor del conocimiento del contenido, quien lo expone y lo entrega a los estudiantes (Simmons *et al.,* 1999).

3.5. La referencia exclusiva y fundamental hacia los libros de texto como fuente de selección de contenidos (Porlán *et al.,* 2000).

4. Los contenidos son "adaptados" en función del número y del lenguaje usado, cuya fuente única es el conocimiento científico (Rivero, 2000).

5. La evaluación de los aprendizajes de los estudiantes respecto de los contenidos conceptuales se valida en referencia a si estos coinciden con los presentados en los textos especializados (De Longhi, 2000).

6. La escasa consideración de los estudiantes en la elaboración de los contenidos.

6.1. No hay incidencia de las ideas de los niños en la planeación (García, F. 1999) y solo se tienen en cuenta al inicio y al final del proceso (Martín del Pozo, 1994).

6.2. La exploración de las concepciones de los estudiantes radican en la perspectiva de los prerrequisitos para el aprendizaje, y en ocasiones con experiencias o vivencias de los niños y no necesariamente en las preconcepciones como tales (Zembal-Saul *et al.,* 2000).

También se puede organizar una mirada a las formas en que los profesores asumen los contenidos escolares de los modelos planteados (Porlán, 1993; Porlán y Martín, 1991; Porlán, Rivero y Martín, 1997; y Rivero *et al.,* 1996). En la tabla 3 se muestra una síntesis a partir de la organización que hace Martínez (2000) sobre tales modelos. Lo que allí se aprecia es una forma de comprender los contenidos desde

perspectivas que van de lo tradicional a lo complejo, pasando por lo tecnológico y lo espontáneo. En los dos primeros modelos se privilegia el conocimiento disciplinar, ya sea para transferirlo o para adaptarlo fielmente; en el tercero (espontáneo) el contenido no necesariamente debe girar solo respecto al disciplinar, sino que deberá adaptarse al contexto de enseñanza y de aprendizaje y en especial al interés del estudiante. En el último la apuesta es por reconocer la complejidad del proceso de enseñanza, en el que el conocimiento científico no es el centro y más bien se pretende considerar que el contenido resulta de la integración de conocimiento y diversas fuentes. Estos modelos tienen implícitamente una mirada del docente como profesional que toma decisiones y actúa consecuentemente con estas en la clase, con sentido y justificación desde alguna de estas perspectivas o con una combinación de ellas. Plantea además que es posible considerar los contenidos desde enfoques diversos en los que el profesor desempeña un rol determinante en las formas de transformar el conocimiento científico que escoge.

**Tabla 3.** Modelos de los contenidos escolares

| Tradicional | Tecnológico | Espontáneo | Alternativo |
|---|---|---|---|
| Centrado en "contenidos conceptuales de la disciplina". El propósito es su reproducción simplificada, acrítica. | Centrado en "adaptaciones del conocimiento disciplinar" a partir de la definición de objetivos. | Centrado en el estudiante. El contendido se considera "adaptación contextual del conocimiento cotidiano". | Destaca el carácter complejo del proceso de enseñanza aprendizaje y el contenido se toma como "la integración de conocimientos que proceden de diversas fuentes". |
| Los contenidos conceptuales son carga eléctrica desde la perspectiva corpuscular, la ley de Coulomb desde la perspectiva de acción a distancia; el campo eléctrico como la relación entre fuerza y espacio, y el potencial eléctrico, entre otros. | Los contenidos conceptuales tienen como función permitir la solución de ejercicios de lápiz y papel, resolver problemas y guías de laboratorio. Por ejemplo, aplicar la fórmula E = F/Q, en la solución de ejercicios que requieren determinar el campo eléctrico en un punto del espacio para una distribución de cargas puntuales. | Prioridad por los contenidos actitudinales asociados a los intereses de los estudiantes. Por ejemplo, se hace énfasis en la explicación de artefactos de uso cotidiano (control del televisor o de la videoconsola) y allí se puede o no acudir al campo eléctrico, se podrían revisar aspectos relacionados con el uso en el juego y formas eficaces de utilización (para ganar un juego, por ejemplo). | Los contenidos conceptuales se validan en fuentes como experiencias de los estudiantes, libros, conocimiento del profesor, entre otros. Los contenidos actitudinales se integran a los procedimentales y atienden inquietudes de los estudiantes y del profesor. Por ejemplo, se relacionan los intereses por la explicación de artefactos (control del televisor o de la videoconsola) con los intereses del profesor y se acude a consultar libros, construir diseños experimentales, miniproyectos y compartir aprendizajes. |

**Nota:** Adaptación de la síntesis de Martínez (2000) de los presupuestos de Porlán (1993); Porlán y Martín (1991); Porlán, Rivero y Martín (1997) y Rivero *et al.* (1996) sobre los modelos de contenidos escolares. Para esta tesis la adaptación se asocia con la enseñanza del campo eléctrico.

Se aprecia entonces que la caracterización de los criterios de selección de contenidos como componente del CDC en profesores de preservicio aportará en la formación de profesionales con criterios argumentados sobre la pertinencia y nivel de los contenidos por enseñar, en cuanto que permite trascender la noción de contenido desde una perspectiva centrada en el listado de temas, y desarrollar una noción en que los contenidos experimental y actitudinal tengan también lugar en la reflexión y la argumentación. Esta situación revela también la dimensión transformadora del conocimiento profesional del docente (en los presupuestos de Shulman, 1986; Grossman, 1990; Porlán, Rivero y Martín del Pozo, 2000). Para el caso que nos ocupa, la selección de los contenidos de enseñanza de la electricidad y en particular el campo eléctrico, tienen un lugar especial las fuentes que utiliza el profesor, ya sean sus libros de texto o sus notas de cursos universitarios, pero la atención se centrará en indagar los criterios para escogerlos, así como para organizarlos y desarrollarlos en clase. Asimismo, se presentan criterios asociados a la importancia del campo eléctrico en relación con las experiencias de la vida de los estudiantes y se proponen y llevan a cabo nuevas experiencias en clase, aspectos que resultan relevantes a la hora de investigar el CDC de los profesores y que ya desde Loughran *et al*. (2006) se han venido considerando en esta línea de investigación al valorar las reconstrucciones conceptuales (ReCo) que hacen los docentes sobre los contenidos de enseñanza.

Ahora bien, como se ha mencionado, en este componente se discuten las distinciones entre contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales. A juicio de Sanmartí (2000, en Perales y Cañal, 2000) esta clasificación tiene la ventaja de:

> … promover que los enseñantes reconozcan que enseñar ciencias es algo más que enseñar conceptos y teorías. En concreto permite reconocer la importancia del aprendizaje de los procesos y técnicas asociados a los métodos utilizados por la ciencia para generar el conocimiento, y de la explicación de los valores y actitudes asociados a dicho conocimiento (p. 248).

### Contenidos conceptuales

Los contenidos conceptuales se entienden como la relación entre las caracterizaciones que se hacen en la ciencia sobre los objetos de estudio y las elaboraciones conceptuales que se construyen, así los conceptos resultan sintetizadores que contribuyen a la generación de significado de los fenómenos. Los conceptos pueden estar organizados para la enseñanza en planteamientos específicos, globales o de orden transversal. Por ejemplo, la conservación de la masa o de la energía resultan ser conceptos integradores o estructurantes (Gagliardi, 1986), lo que no sucede con otros como el de *masa* o de *materia*, pues estos son específicos y dan explicaciones organizativas de experiencias o hechos construidos.

Los contenidos conceptuales han constituido el interés general de la formación de profesores y de la enseñanza de las ciencias, pero su tratamiento aislado por las especificidades de las disciplinas ha sido uno de los factores que ha impedido distinguir salidas a la centralidad en conceptos específicos, y por lo menos comenzar a buscar las relaciones de conceptos entre las disciplinas que se supone se enseñan en la escuela. Tampoco se hace mucho énfasis en distinguir una estructura organizativa de los contenidos conceptuales en categorías de la ciencia como son los principios, las leyes, las teorías, los teoremas y los modelos; más bien se asumen posturas de corte acumulativo y lineal de los conceptos de la ciencia, en las que se seleccionan contenidos conceptuales de los cuales unos resultan ser prerrequisitos de otros, considerando especialmente que así se produce la ciencia y olvidando que la selección y transformación de los contenidos también obedece a criterios psicológicos, epistemológicos y culturales (Coll y Solé, 1987).

*El campo eléctrico en los estándares del Ministerio de Educación Nacional*

Aunque no forma parte del propósito principal de la tesis, respecto a los estándares básicos de competencias en ciencias naturales (MEN, 2004), la organización de los conocimientos físicos (los contenidos conceptuales) se encuentra ligada a las competencias de explicación, de modelación y a la de establecer relaciones entre los conceptos. Esta última es la que se propone de forma exclusiva para el caso de la enseñanza de la electricidad (ver tabla 3) según los siguientes estándares para educación básica y media.

1. Establezco relaciones entre fuerzas macroscópicas y fuerzas electrostáticas.
2. Establezco relaciones entre campo gravitacional y electrostático y entre campo eléctrico y magnético y,
3. Relaciono voltaje y corriente con los diferentes elementos de un circuito eléctrico complejo y para todo el sistema (MEN, 2004, p. 141).

Como puede apreciarse, los estándares (vía competencias) posicionan la idea de fuerza desde una perspectiva de la interacción y buscan que los estudiantes extrapolen tal concepción de lo grande a lo pequeño, para el caso de las fuerzas electrostáticas. En cuanto a la idea de "campo" se refieren a este en dos casos principales; por un lado en el establecimiento de relaciones entre el fenómeno gravitacional y el electrostático, y por el otro en las posibles características que los diferenciarían.

En el primero, dado que el enfoque de los estándares se basa en el desarrollo de competencias, conviene advertir que la manera como se encuentran redactadas expresan una dependencia de estas con los contenidos conceptuales, lo cual brinda un rango bastante amplio para que el profesor organice la secuencia. Sin embargo el carácter vinculante entre competencias y contenidos conceptuales también trae

consigo la carga histórica tradicional de la enseñanza de los conceptos en física, aspecto que puede influir en la selección y secuenciación de estos, ya que como aparecen en el documento oficial de los estándares y también en los libros de texto, se vuelven un fuerte referente para visiones acumulativas y lineales.

En el segundo, aun cuando en los estándares se hace referencia al concepto de campo en los fenómenos magnéticos y en los eléctricos, aquí tampoco se mencionan tipos de relaciones posibles o alternativas diferenciadoras en atención a la naturaleza del fenómeno, aspecto que deberá considerar el profesor a la hora de abordar el campo eléctrico, en especial cuando se consideran las representaciones del campo eléctrico y del campo magnético —por medio de líneas de fuerza—, así como las cantidades físicas asociadas en cada caso como fuerza eléctrica, fuerza magnética, distancia y, aunque no lo determine con claridad, la posibilidad de revisar el campo electromagnético. Al igual que en el caso anterior, no se explicitan posibles relaciones que físicamente se hacen más potentes para construir explicaciones del funcionamiento del mundo o de los artefactos creados por la humanidad (excepto para el caso de los circuitos).

Otra fuente que debe considerarse de manera general lo constituyen los libros de texto de física que el profesor eventualmente consulta para sus clases. En particular, algunos libros de texto (Villegas y Ramírez, 1998; Zitzewitz, Neff y Davids, 1995; Wilson y Buffa, 2003) enfatizan en el desarrollo de una comprensión de la ley de Coulomb, así como del campo eléctrico desde una perspectiva más bien de corte newtoniano, en la que la interacción entre partículas con carga eléctrica es a distancia, sin importar el medio entre estas, aspecto que se profundizará más adelante.

*La enseñanza del campo eléctrico*

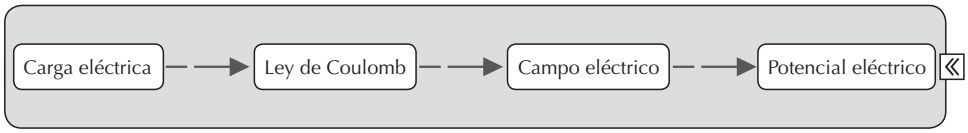
Una forma muy clásica en la que se muestra el concepto de campo en relación con otros contenidos (tanto en las clases tradicionales como en los libros de texto) no discute la naturaleza epistemológica del concepto ni se asoma a la necesidad de diferenciarlo del concepto de fuerza, por ejemplo cuando se encuentran definiciones del campo asociadas a la ecuación (E= F/q), e inmediatamente se procede a resolver ejercicios de aplicación de la ecuación.

- **Fuerza y campo no diferenciados**

Esta visión está muy ligada al peso que le da el profesor a la perspectiva newtoniana. Martín y Solbes (2001) encuentran que los docentes confunden la fuerza *F* con el vector intensidad de campo *E*, cuando son inquiridos por dibujar este último vector en puntos donde no hay cargas eléctricas. Esta situación puede influir en la selección de contenidos en el sentido de validar implícitamente la forma en que es organizada la aproximación al concepto de campo, partiendo desde la idea de carga y luego de fuerza eléctrica (ley de Coulomb). Cuando se insiste en este tipo de organizaciones y

jerarquizaciones implícitamente se enfatiza en el tratamiento de los conceptos desde una perspectiva newtoniana, es decir, las interacciones eléctricas se entienden a distancia y en simultaneidad.

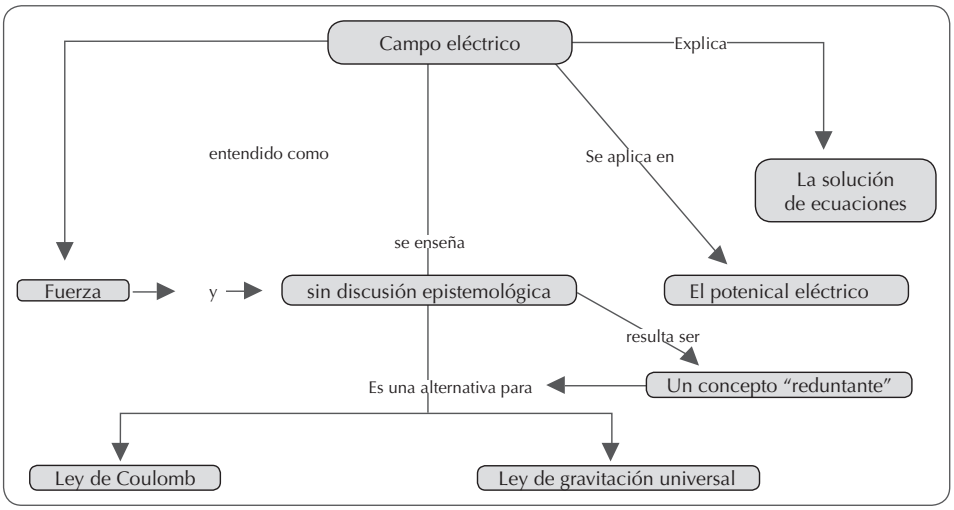
**Figura 16.** Secuencia de contenidos conceptuales desde una perspectiva en la que se considera implícitamente la necesidad de la idea de carga y de interacciones a distancia. Acumulativa y lineal




En general, los libros de texto (Villegas y Ramírez, 1998; Zitzewitz, Neff y Davids, 1995; Hewitt, 1999; Wilson y Buffa, 2003) secuencian los temas como en la figura 18, y los profesores que asumen su planeación y el desarrollo de las clases en este sentido, también involucran el concepto de diferencia de potencial como una aplicación del concepto de campo eléctrico (ver figura 16), sin que medie una reflexión sobre el concepto de energía potencial, o una aproximación que lo diferencie de la visión newtoniana de la caída libre —donde las partículas tienen energía potencial—. Esta visión tiene en la base una comprensión del campo eléctrico como instrumento para analizar la interacción eléctrica, pero desde una perspectiva en la que no se diferencia entre fuerza y campo (Viennot, 1992; Furió y Guisasola, 1998b) Así, este concepto de campo resulta ser útil en cuanto instrumento para revisar si los estudiantes resuelven bien ecuaciones, o ejercicios tipo lápiz y papel en los que su uso se hace necesario.

Con todo, tampoco se discuten los tratamientos usuales de organización y jerarquización de los contenidos, ni se consideran importantes los conceptos de los estudiantes para abordar el tratamiento de los temas. Esto es lo que a juicio de Poon (1986) resulta cuando no se discute el significado físico del concepto y como consecuencia: "…el lenguaje de campo aparenta ser algo redundante, y ofrece meramente una alternativa para expresar la ley de Gravitación Universal de Newton o la ley de Coulumb" (Poon, 1986, p. 307). Aquí, el concepto de campo eléctrico no es organizador sino, más bien, un elemento dentro de una especie de máquina que organiza los contenidos en forma lineal para la enseñanza. Es decir, no hay las valoraciones de la organización y secuenciación de los contenidos de los libros o de los planes de estudio hechos por otros.

**Figura 17.** El concepto de campo en una visión acumulativa lineal de organización del contenido




Con esto se hace imperativo resaltar que en la base de la visión acumulativa lineal (ver figura 17) estaría la no diferenciación epistemológica entre acción a distancia y campo, y por tanto una falta de criterio sobre la pertinencia de ver los temas unos como prerrequisitos de otros, sin mediar reflexión epistemológica. Diríamos que en este caso el docente de Física no se asume como sujeto-epistémico-profesor (Perafán, 2004), sino más bien como sujeto-relator-profesor. En este sentido, la exposición lineal de los contenidos se hace sin considerar los "…saltos cualitativos ni los problemas que dieron lugar a nuevos conceptos de mayor poder explicativo" (Furió y Guisasola, 1997, p. 264).

Este tipo de organizaciones pueden también entenderse como de un nivel de formulación implícito, en el que se asumen los contenidos tal como se entiende el modelo teórico de la electricidad en la actualidad, es decir, la idea de carga y de fuerza eléctrica parecieran cantidades físicas con significados que no necesitan ser revisados sino transmitidos, y por lo tanto entregados en el más purista de los sentidos. El campo eléctrico entonces termina siendo enseñado de forma "aproblemática y, por tanto, arbitraria" (Furió y Guisasola, 1997, p. 264).

*La ontología del campo eléctrico*

Por otro lado, si se considera que la ontología del campo fundamenta su existencia, es decir, que se le da alguna realidad al campo, entonces este se constituye en referencia para la selección y jerarquización de contenidos, pues al igual que la masa, la luz y otras realidades físicas, los contenidos asociados al campo eléctrico deberán

estar en relación con la realidad que se quiere construir. En efecto, si el campo eléctrico es "... una entidad tan real como las fuentes que lo crean, realidad que resulta más evidente cuando las fuentes dependen del tiempo, ya que, entonces, el campo transporta energía y momentos, lineal y angular, como las partículas materiales" (Poner, 1994; en Martín y Solbes, 2001, p. 394), entonces la planeación y secuenciación de los contenidos deberían corresponderse (por lo menos en un nivel deseable y en coherencia con esta postura) con un proceso constructivo de la realidad del campo, el cual puede tomar elementos de la historia de la física o los relacionados con psicogénesis de los conceptos científicos, especialmente vinculados con:

1. La diferenciación entre fuerza y campo, en el entendido de cuestionar las explicaciones que la idea de fuerza puede dar frente a fenómenos o situaciones específicas, por ejemplo el caso de los conductores.
2. La organización de contenidos que asocien realidad al campo en términos de acciones locales y no a distancia, cuando se atiende por darle sentido a la transmisión de una especie de perturbación del medio, la cual se procede a explicar punto por punto en el espacio.
3. La representación del campo a partir de situaciones experimentales, en las que se organizan los contenidos de forma asociada a la realidad de otros entes como las líneas de fuerza.
4. La discusión sobre las formas usuales de organización de los contenidos conceptuales asociados al campo eléctrico que se presentan en la enseñanza tradicional o en los libros de texto.

*Alternativas no tan lineales*

Etkina y Van Heuvelen (2006) en su propuesta de formación de profesores de Física, y para el caso específico de la enseñanza del campo eléctrico, proponen una secuencia de contenidos asociados a las actividades, y en relación con metas conceptuales y procedimentales para los estudiantes. En las primeras incluyen que los estudiantes:

a. Comprendan que las interacciones entre cargas eléctricas pueden ser explicadas por medio de un modelo de campo eléctrico.
b. Comprendan que un campo eléctrico es una "cosa" real creada por los objetos en el espacio.
c. Comprendan la diferencia entre una carga fuente y una carga de prueba.
d. Aprendan a definir operacionalmente las cantidades físicas campo eléctrico (*E*-campo) y potencial eléctrico (*V* campo).
e. Aprendan a usar estas cantidades para describir procesos de carga eléctrica (p.15-1).

Y en cuanto a las segundas proponen que los estudiantes:

a. Aprendan a representar situaciones de fuerza eléctrica con vectores de *E*-campo y líneas de campo eléctrico.

b. Aprendan a representar situaciones de energía eléctrica con líneas equipotenciales y gráficos energéticos de barras.

c. Aprendan a utilizar el conocimiento sobre campo eléctrico para resolver problemas (p. 15-1).

Esta propuesta se complementa con el desarrollo de los siguientes procesos:

1. Establecimiento de analogías: Que los estudiantes deduzcan por analogía el concepto de campo eléctrico. Sugieren que examinen las similitudes entre interacciones gravitacionales e interacciones eléctricas y lleguen a un mecanismo que explica cómo ambas interacciones se pueden producir a distancia. Aquí se tratan criterios asociados a la idea de interacción entre cuerpos, a la masa y la carga como propiedades, a la dirección de la interacción, también sobre ecuaciones para la magnitud de la interacción, la relación proporcional entre el valor de la magnitud de la fuerza y las propiedades del objeto, así como la relación proporcional entre el valor de la magnitud de la fuerza y la distancia entre los objetos y la energía potencial de los objetos interactuantes. Es decir, que se abordan los contenidos de carga eléctrica, interacción y ley de Coulomb a manera de preguntas y acciones, pero no la definición de estos.

2. En simultánea, conceptualización de la carga eléctrica: Recomiendan que cuando el profesor use el término carga eléctrica en referencia a un objeto, hay que poner énfasis en que los estudiantes lo entiendan como abreviación de objeto cargado eléctricamente. La idea entonces es que el profesor en formación identifique la utilidad de esta abreviación en el sentido de comparar con las propuestas usuales en las que siempre se trata con cargas puntuales, y donde lo que se debe advertir es que la idea de carga no se puede asociar con el objeto (su masa), sino que debe ser entendida como una propiedad que le permite a los objetos participar en ciertos tipos de interacción.

3. La conceptualización del campo eléctrico como "[…] ´cosa´ real creada por los objetos en el espacio" se debe relacionar con la explicación de los cambios de movimiento de las cargas que se coloquen en un punto del campo creado por otra carga eléctrica. Es decir, la realidad del campo eléctrico está asociada como explicación de los efectos sobre otras cargas, así como sucede con la Tierra que crea un campo gravitacional que llena el espacio que la rodea" (p.15-5), y es un "[…] campo que ejerce fuerza sobre un objeto que se encuentre inmerso en éste" (p.15-5).

4. La diferenciación entre carga fuente y carga de prueba, debido a que el campo es algo creado por la carga, pero no es visible y por tanto lo que debemos hacer es verificar su presencia por medio de cargas de prueba (p.15-8).
5. "La definición del vector E-campo (vector campo eléctrico) es una definición operacional de una nueva cantidad física" (p.15-10) entendida como una "declaración" que nos dice cómo hallar el valor de una cantidad. Para el caso de *E*-campo se advierte que esta cantidad describe al campo eléctrico en un punto particular del espacio (que rodea la carga fuente) en la medida en que expresa la fuerza (como vector) que este campo ejerce sobre una carga de prueba. *E*-campo se denomina también como intensidad del campo eléctrico.
6. *V*-campo (potencial), es una cantidad que también describe al campo eléctrico en un punto particular del espacio (que rodea la carga fuente), en la medida en que expresa la energía potencial eléctrica que tiene la carga de prueba en este punto.

### Contenidos procedimentales

Los contenidos procedimentales están asociados a los conocimientos que se aplican o construyen en el desarrollo de acciones ordenadas con fines específicos; en últimas, con el "saber hacer" (Zabala, 2000). Como es un conocimiento de la acción pueden formularse elementos de su construcción a partir de perspectivas diversas, en especial ideas conductistas o constructivistas. Para las primeras, los contenidos procedimentales están preordenados y se organizan estilo receta de cocina, son llevados a cabo por el profesor y responden a una lógica propia de organización. En los segundos los contenidos procedimentales son en sí mismo resultado y proceso de la organización de la experiencia, están atados a las formas particulares en las que los sujetos desarrollaron las actividades experimentales o el trabajo de campo. En este mismo sentido Oró (2000) plantea que la enseñanza de los contenidos procedimentales en ciencias debe asociar el desarrollo de "procedimientos relacionados con el trabajo experimental" como "uso de herramientas y montajes de dispositivos, descripción de fenómenos, clasificación identificación de variables y formulación de hipótesis" (p. 20). Sin embargo el trabajo de laboratorio requiere ser comunicado de manera que el uso adecuado del lenguaje científico, la elaboraciones de informes de actividades y la extracción de información de libros resultan ser "procedimientos relacionados con la información y la comunicación" (Oró, 2000, p. 20), al igual que los "procedimientos relacionados con la conceptualización y aplicación de los conceptos aprendidos" en donde se encuentran la elaboración de esquemas o "mapas conceptuales, así como de 'síntesis de informaciones diversas'" (Oró, 2000, p. 20).

Ahora bien, Zabala *et al*. (2000) distingue que la enseñanza de contenidos procedimentales debe considerar cinco condiciones:

1. Partir de situaciones significativas y funcionales… debemos saber para qué sirve, cuál es su función, aunque sea para poder realizar un nuevo aprendizaje… (p.13).
2. Progreso y orden… [Debe haber] una secuencia clara con un orden de actividades que atienda a un proceso gradual… (p.14).
3. Presentación de modelos… en los que se pueda ver todos el proceso… que presenten una visión completa de las distintas fases o acciones… (p.14).
4. Práctica guiada y ayudas de distinto grado… suministrar ayudas a lo largo de las distintas acciones para ir retirándolas progresivamente… observar y guiar al alumnado en un proceso de práctica guiada en la que podrán ir asumiendo de forma progresiva el control… ( p.14).
5. El trabajo Independiente [como]… la meta que se persigue en la práctica guiada (p.15).

Así, se podría suponer que el profesor practicante desarrolla consciente o inconscientemente contenidos procedimentales en sus clases, ya sea si asume una perspectiva de enseñanza tradicional o constructivista y, por ende, su caracterización permitirá cualificar tanto los criterios utilizados como los procesos llevados a cabo en la interacción con sus estudiantes.

Se colige que en general los contenidos en la enseñanza de la ciencia usualmente están asociados al trabajo de laboratorio, dependiendo del tipo de aproximación didáctica que se elija; asimismo se hacen ciertos énfasis en qué es lo que los estudiantes deben hacer y en qué orden. Pueden ser utilizados también de manera explícita cuando se asumen perspectivas de competencias como en el caso de los estándares del MEN (2004) en los que las habilidades y capacidades relacionadas con "saber hacer "cobran mayor sentido, pues definen acciones de competencia específicas relativas a procedimientos de observación, toma de datos, elaboración de cuadros y diagramas o esquemas de representación, y hasta el desarrollo de algoritmos propios de la matemática asociada a la enseñanza de la ciencia.

En Colombia los estándares del MEN (2004) proponen contenidos procedimentales con una mirada de aproximación al conocimiento como "científico natural" (ver tabla 4) en los que se destacan los procedimientos siguientes: observación, identificación de variables, formulación de hipótesis, relación entre variables, establecimiento de conclusiones, comunicación, persistencia, medición, diferenciación, aplicación de la matemática y organización de la información.

### Contenidos actitudinales

Las actitudes comúnmente se relacionan con estados de ánimo o con el temperamento de las personas, sin embargo en el terreno de la investigación educativa esta definición se presta para ambigüedades o confusiones con términos como valores,

hábitos o preferencias. Al respecto Sarabia (1992) define las actitudes como las "tendencias o disposiciones adquiridas y relativamente duraderas a evaluar de un modo determinado un objeto, persona, suceso o situación y a actuar en consonancia con dicha evaluación" (p.137). En este sentido los contenidos actitudinales resultan asociados a procesos en los cuales los estudiantes establecen opiniones o juicios de valor sobre objetos de trabajo académico o procedimientos desarrollados, por ende el profesor puede favorecer los contenidos actitudinales en sus clases si tiene en cuenta dos componentes principales: el afecto y la tendencia a la acción.

A juicio de Pro y Saura (2000) estos conocimientos no forman parte de una programación regular de los profesores de Física debido al desconocimiento de cómo enseñarlos o por la poca relevancia que se les atribuye. Estos autores llaman la atención sobre que la referencia a las actitudes sirve como argumento para justificar la enseñanza de la física, pero resulta paradójico que no se ayudan como contenido para enseñar, en este sentido recogen la propuesta de Vásquez y Manassero (1995) en relación con tres actitudes:

1. Actitudes hacia la física, entendidas como la valoración que se hace de los modelos, la provisionalidad del conocimiento y de las repercusiones sociales de los descubrimientos.
2. Actitudes científicas, entendidas como el planteamiento de preguntas, la regulación de expectativas, el rigor y la precisión en el desarrollo de tareas, la tolerancia y capacidad para el trabajo en grupo.
3. Actitudes saludables y de conservación, entendidas como la adquisición de hábitos en relación con el contenido físico que se estudie, la toma de conciencia acerca de impactos o influencias sobre el medio y las acciones concretas que manifiesten constituciones personales hacia el ambiente.

La propuesta de Pro y Saura (2000) invita a pasar de la intención de conducta hacia la conducta concreta, es decir, que la idea es propiciar ambientes en donde los que aprenden se vean afectados e impelidos a evolucionar en su conducta y no meramente a expresar buenas intenciones de cambio. Igualmente señalan cómo se le ha venido dando prelación a contenidos actitudinales en cuatro categorías a saber: a) hacia la ciencia y sus descubrimientos (en nuestro caso, en la física); b) en los procesos científicos; c) para la creación de hábitos saludables y de conservación y, d) ante la asignatura (p. 394).

En Colombia, los estándares del MEN (2004) identifican competencias de orden personal y social. Aquí se incluyen aspectos relacionados con lo que termina siendo aproximaciones a los valores individuales y de trabajo en equipo. Aunque no especifica su relación con la física o con teorías de la ciencia, estas competencias invitan a considerar el desarrollo de compromisos como: a) la tolerancia, al reconocer y aceptar al otro en el escepticismo o la credibilidad de lo que se dice; b) reconocer las

limitaciones de los modelos científicos; c) la preparación intelectual personal para dialogar en clase; d) el cuidado del cuerpo, la sexualidad y la alimentación, y e) la ética frente a los avances tecnológicos.

Ahora bien, dado que "las actitudes poseen tres componentes básicos y definitorios que reflejan la complejidad de la realidad social: cognitivo (conocimientos y creencias), afectivo (sentimientos y preferencias) y conductual (acciones manifiestas y declaración de intenciones)" (Sarabia, 1992), el trabajo del profesor de Física ha de incluir su desarrollo tanto en la planeación como en la enseñanza interactiva, para que así se complete una perspectiva integral en la formación del sujeto estudiante.

Por otra parte, Sanmartí (2000) propone considerar como criterio las relaciones entre "ciencia de los científicos" y la "ciencia escolar", acudiendo a la idea de transposición didáctica (Chevallard, 1985) y teniendo en cuenta una perspectiva de identificación de conceptos estructurantes (García, 1998) o metadisciplinares, que orientarían la enseñanza. Se aprecia que la preocupación por establecer este criterio se fundamenta en la necesaria distinción epistemológica que habría que hacer sobre el conocimiento de la ciencia, el producido por las comunidades científicas y el de la escuela. Adicionalmente Sanmartí (2000) señala la "significatividad social" (p. 247) como tercer criterio de selección de contenidos en el entendido del potencial que tienen de ser tratados para darles significado a los fenómenos y los problemas cotidianos, así como para "[…] ser capaz de actuar coherentemente" (p. 250). En este enfoque la selección de los contenidos también obedece a principios que pudieran bien llamarse de orden sociológico en los que corrientes como la ciencia-tecnología y sociedad comienzan a impactar la elección de lo que se trata en la escuela y que aportan visiones nuevas desde las que García, C. (1998) propone como una perspectiva metadisciplinar compleja y crítica que, "desde una visión no reduccionista, caracteriza al conocimiento como sistemas de ideas en continua interacción, reorganización y evolución; al mundo como un sistema de ideas y al aula como un sistema social y complejo" (p. 139).

Ahora bien, en relación con los propósitos de la enseñanza, Lucas (1986) señala que la organización y secuenciación de los contenidos debe trascender la enseñanza tradicional de contenidos conceptuales e inconexos, yendo más allá de su linealidad acumulativa, y proponiendo temas transversales en los que también se pueden abordar contenidos, de acuerdo con ciertos fines generales de la educación, en los cuales los contenidos conceptuales se hacen significativos. En este sentido, algunos de los criterios de secuenciación de los contenidos conceptuales resultan de orden epistemológico, especialmente cuando se asumen posturas relacionadas con la naturaleza del conocimiento científico, como por ejemplo ordenar de acuerdo con cómo se produjeron históricamente los conceptos, pero también según una visión epistemológica sobre la generación de conocimiento, ya sea por acumulación,

desde una mirada iluminista, o considerando el enciclopedismo, el positivismo, el constructivismo o el relativismo.

Estos referentes vienen acompañados de unos criterios de orden sicológico asociados a la idea de aprendizaje, ya sea por transmisión-linealidad-acumulación o por construcción a partir de ideas-previas hacia nuevas ideas-reconstrucción, o desde miradas más espontáneas de activismo no mediado; o por perspectivas de orden complejo que reconocen fuentes de conocimiento diversas y posibilidades sistémicas de construcción de conocimiento en la clase.

Anchorena (1994) destaca la concepción epistemológica subyacente como un criterio de calidad científica que debería tener la selección de contenidos en la enseñanza de la física, de manera que la selección y secuencia de contenidos debería ser coherente con la epistemología de la física misma y la que le es inherente a su modo de producción. En su investigación de los programas educativos en física de Argentina, Anchorena discute cómo sus resultados muestran una concepción epistemológica subyacente de corte inductivista ingenuo en los programas de enseñanza de la física en el nivel medio.

La otra mirada acerca de la secuenciación es señalada por Sanmartí (2000), quien también destaca una organización y secuenciación que denomina "de ciencia pura", en la que existen conceptos básicos —o generales— que se deberían construir en la escuela, y que se pueden evidenciar por medio de aplicaciones; por ejemplo el concepto básico de la fotosíntesis, que tendría aplicaciones en el ciclo del carbono y el efecto invernadero. Así, para Sanmartí (2000) las ideas centrales resultan ordenadoras de interrelaciones entre otras ideas o preguntas que se pueden formular para la enseñanza de los contenidos conceptuales. Por lo tanto, esta propuesta de la planeación del profesor puede alimentarse del desarrollo de mapas conceptuales o diagramas de ideas que destaquen las interrelaciones y la organización de conceptos.

Aun cuando esta actividad no sugiere necesariamente la idea de secuenciación, pues si el mapa conceptual es jerárquico ello no implica un orden especial, sí brinda elementos de organización a la selección de los contenidos. La propuesta de criterios de secuenciación se complementa en el sentido de darle un lugar a los sistemas de ideas de los estudiantes y atender cuestiones como: "su posible grado de Concreción vs. Abstracción, el nivel Simplicidad vs. Complejidad, su carácter más General vs. Particular y también muy especialmente, la proximidad con las intuiciones o ideas previas de los alumnos y alumnas" (Sanmartí, 2000; en Perales y Cañal, 2000, p. 253). Se evidencia aquí un sesgo eminentemente constructivista que valida la participación de los estudiantes y las formas de evolución o progresión de las ideas por medio de aproximaciones sucesivas.

Se estima conveniente la formulación de algunos interrogantes que han surgido a partir de esta indagación documental sobre las contenidos actitudinales: a) ¿Hasta

qué punto las actitudes científicas son referentes del desarrollo de contenidos actitudinales, sin mediación investigativa sobre ellas, en especial acerca de sus implicaciones en el imaginario sobre la naturaleza de la física en relación con factores como la cultura, la economía y la educación? b) En general, ¿cuáles podrían ser los contenidos actitudinales diferenciados en relación con factores contextuales y en particular para el caso de la enseñanza de la física en Colombia? c) ¿A qué se debe la escasa investigación en el campo de los contenidos actitudinales en la enseñanza de la física y en especial aquellas asociadas a la didáctica de la electricidad? Estas preguntas pueden ser consideradas en futuras investigaciones en enseñanza de la física y en particular de la electricidad.

Finalmente conviene destacar que los aspectos centrales derivados del tratamiento teórico anterior sobre los contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales son:

1. Existe una perspectiva acumulativa lineal del tratamiento de los contenidos, principalmente conceptuales, que asume un enfoque didáctico acrítico de corte transmisionista.
2. Cuando los contenidos conceptuales se acompañan de los procedimentales están asociados a protocolos.
3. Muchos de los modelos de enseñanza sigue las directrices de los libros de texto o planes curriculares establecidos.
4. Cuando se cuestiona el papel del estudiante en la construcción de los contenidos se pueden dar pasos hacia posturas menos tradicionales, que van de la enseñanza acrítica hacia enseñanzas reflexivas.
5. Es necesario considerar la perspectiva epistemológica del campo eléctrico asociada a su enseñanza, aspecto que contraviene la perspectiva acumulativo-lineal en la que el conocimiento sobre la electricidad ya está construido.
6. Se hace relevante que la enseñanza del campo eléctrico involucre los contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales.
7. Es posible proponer la enseñanza desde perspectivas integrales en las que no solo primen los intereses de los planes del estudio, el currículo, los libros de texto y del profesor.

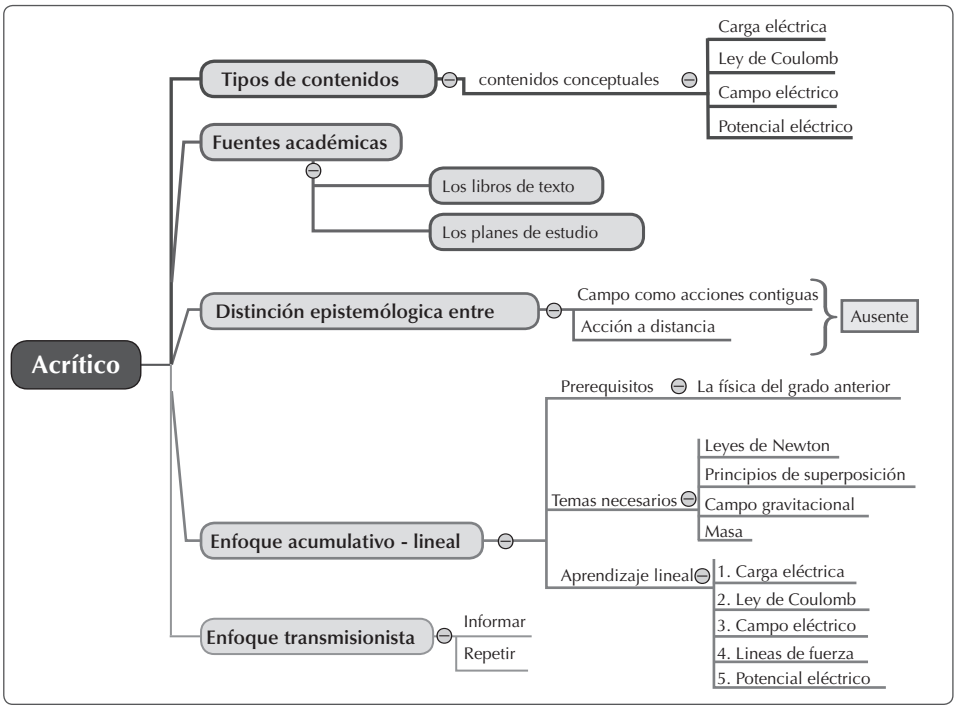


## Niveles de formulación para los contenidos

A continuación se describe la organización de los niveles de formulación para los contenidos asociados a la enseñanza del campo eléctrico.

*El nivel de formulación acrítico (contenidos de enseñanza)*

**Figura 18.** Nivel de formulación acrítico



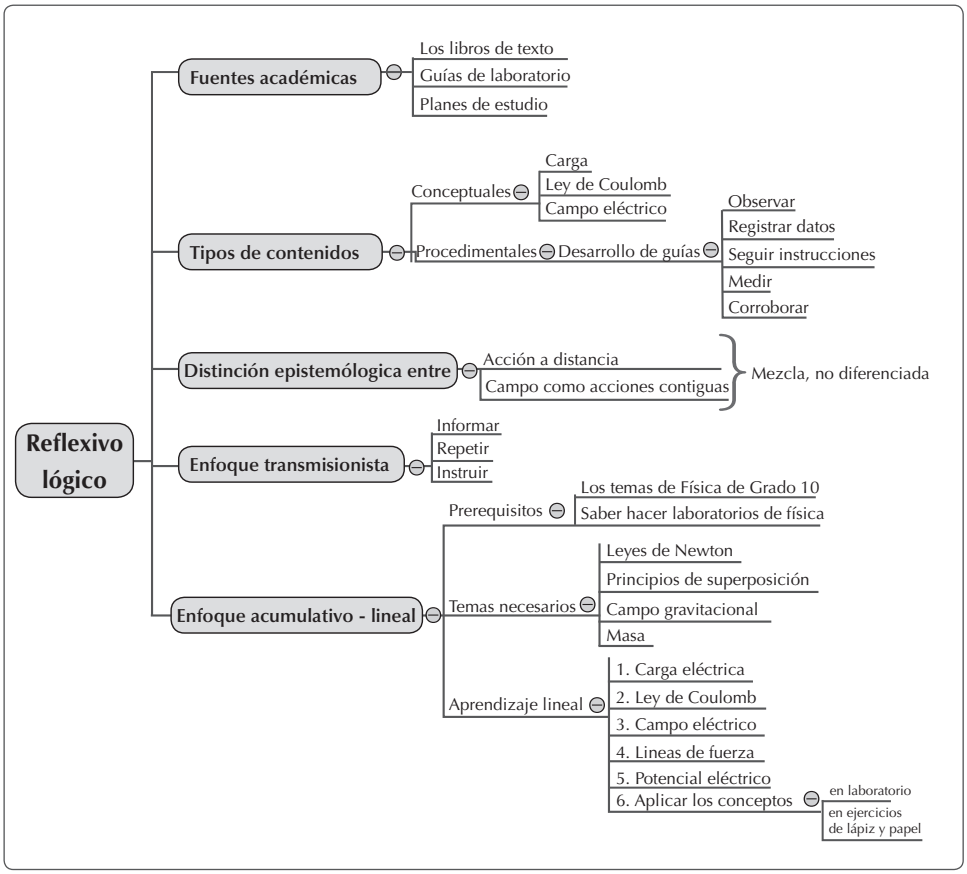

En este nivel los referentes teóricos se toman como conocimiento establecido y en tal sentido se asume la didáctica desde una perspectiva acrítica (ver figura 18). Las explicaciones de los desarrollos didácticos reposan en las formas aprendidas en la formación académica del profesor y se considera el conocimiento físico como el que debe transmitirse a los estudiantes, y en el que nivel de transformación del contenido conceptual para la enseñanza es simple o superficial.

Este nivel representa un docente basado en el sistema de educación tradicional en el que los contenidos deben darse siguiendo un orden estructurado, ya definido por libros de texto, en el cual no es permitido hacer innovación alguna y de ahí la poca importancia que se da a los contenidos procedimentales y actitudinales; los únicos contenidos importantes para este nivel son los teóricos, las fórmulas y definiciones correctas. Además, existen unos contenidos previos que se supone ya deben estar elaborados por los estudiantes, situación a la que se vincula la falta de una reflexión epistemológica sobre el campo eléctrico y su enseñanza.

*Nivel de formulación reflexivo-lógico (contenidos de enseñanza)*

Las explicaciones del orden de los temas en la secuencia están asociadas de forma explícita a las experiencias de aprendizaje de la universidad o a los libros. La secuencia es intencionada para el aprendizaje de los conceptos (carga, fuerza eléctrica, campo eléctrico) mediante una baja relación con el fenómeno eléctrico, es decir, se supone que para comprender el campo eléctrico se requiere entender primero la idea de carga, pero no se reflexiona sobre la perspectiva fenomenológica asociada, por ejemplo si la idea de fuerza desde la perspectiva de acción a distancia es útil en la comprensión de la idea de intensidad del campo en un punto (ver figura 19).

**Figura 19.** Nivel de formulación reflexivo-lógico

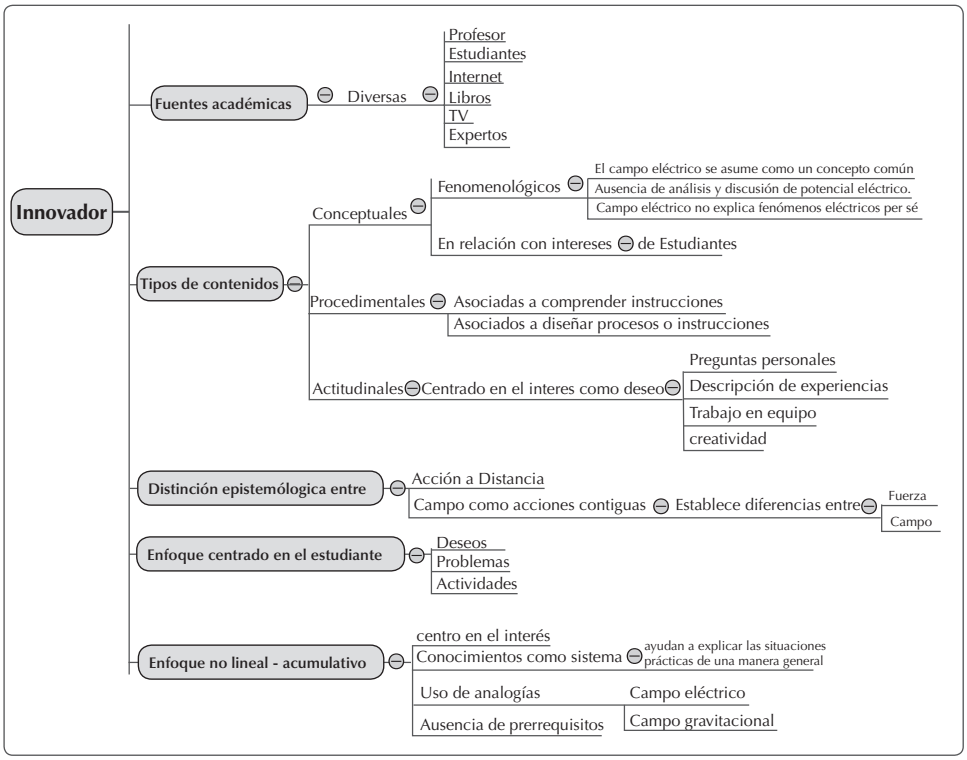


En este nivel se presenta un avance por cuanto se incluyen los contenidos procedimentales basados en laboratorios donde se relaciona la observación, la toma de datos y en general la experimentación. Sin embargo la entrega de informes tiene un orden estructurado y definido por el docente, además, aunque existe un orden en contenido lineal no se considera aquellos que los estudiantes ya tienen elaborados. Los contenidos ahora son importantes en función de su relación con el conocimiento de física en el futuro, sin embargo no están vinculados con la aplicación que estos tienen en la vida cotidiana. Asimismo, la epistemología del campo eléctrico y su enseñanza no se caracterizan, de manera que se pueden encontrar discursos y acciones que yuxtaponen las explicaciones desde enfoques diferentes, como la acción a distancia y la idea de campo. Este nivel de formulación, por lo tanto, tiene un enfoque marcado por lo técnico de la planeación y la enseñanza, en el que se priorizan las visiones de enseñanza marcadas por ordenamientos y jerarquizaciones establecidas *a priori,* no obstante una diferencia con el nivel acrítico es que el profesor explicita la credibilidad que le da a los libros de texto, a los referentes académicos de sus estudios universitarios y a las fuentes de autoridad intelectual propias de la física. Así lo reflexivo se evidencia en la conciencia que tiene el profesor al atribuirle un rol preponderante a estos elementos en su enseñanza del campo eléctrico.

*Nivel de formulación innovador (contenidos de enseñanza)*

La organización de los contenidos se hace de forma diferente a la de los libros de texto justificando desde perspectivas de orden espontáneo (Porlán y Rivero, 1998) en las que si bien el centro es el estudiante, no hay una postura epistemológica ni pedagógica destacada en la planeación o el desarrollo de las clases. Esta organización considera relaciones entre los conceptos de manera que favorece el establecimiento de comprensiones para el caso del campo eléctrico. No hay una visión lineal acumulativa en cuanto se permite distribuir los contenidos conceptuales; en su lugar se presentan argumentos que organizan los contenidos en relación con una secuencia de procesos de pensamiento, o desde una perspectiva de reflexión a partir de la experiencia. La secuencia es intencionada hacia el aprendizaje de los conceptos y no necesariamente con el sentido de generación de significados asociados a la explicación del fenómeno eléctrico. Se establecen relaciones entre los conceptos, especialmente en cuanto a sus usos para la comprensión de representaciones, pero no desde una perspectiva holística o integral del fenómeno, lo que implicaría seleccionar y secuenciar contenidos para la organización de la experiencia en un contexto de significado (ver figura 20).

**Figura 20.** Nivel de formulación innovador

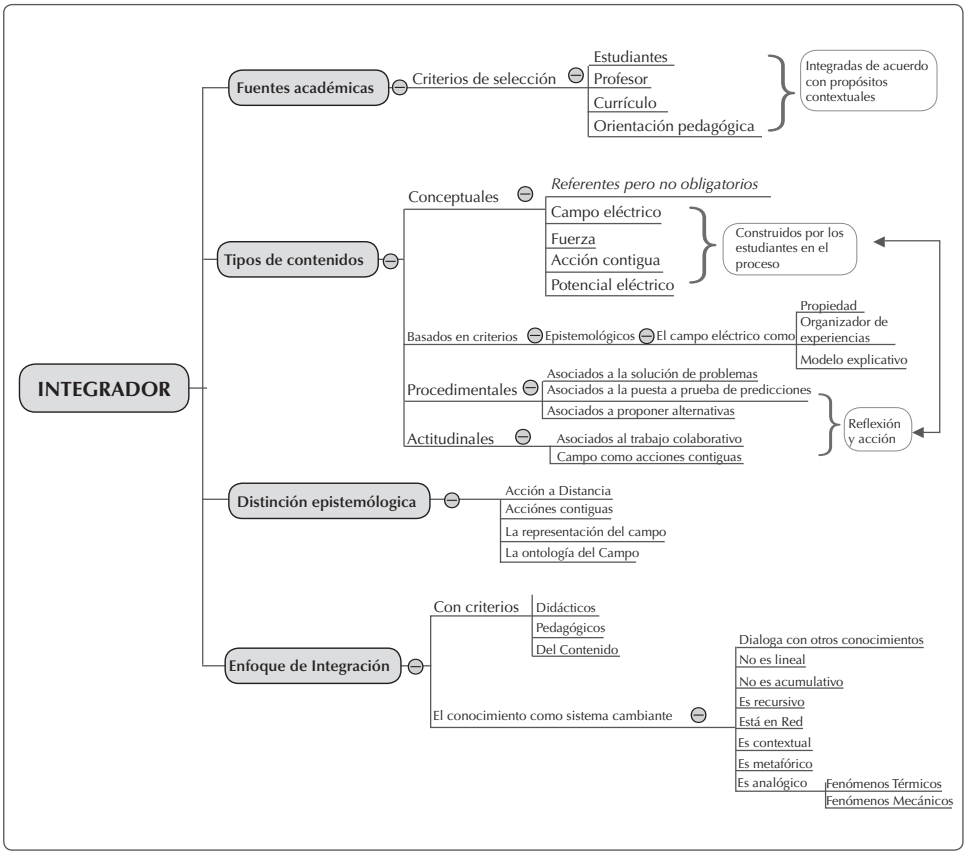



En este nivel la selección de contenidos ya no se hace teniendo en cuenta solo los libros de texto como en los dos anteriores, sino que se centra en los intereses de los estudiantes, y por tanto los contenidos deben dar respuesta y explicación a situaciones prácticas de manera general. Adicionalmente, tanto las definiciones como el lenguaje que usa el docente es comprensible para el estudiante. Además, el docente ahora considera los contenidos actitudinales tales como el interés y la motivación frente al área, y valora el trabajo que desarrolla cada uno, el cual no necesariamente se debe limitar al cumplimiento de instrucciones, en especial porque este tipo de docente pone énfasis en satisfacer las demandas de sus estudiantes, es decir, en priorizar su felicidad en cuanto satisfacción de sus deseos e intereses. Aquí los contenidos procedimentales se insertan de manera más auténtica y menos encauzada. Igualmente se generan alternativas de análisis sobre las diferencias posibles entre las explicaciones de la interacción eléctrica con la idea de fuerza o de campo como acciones contiguas, u otras alternativas.

*Nivel de formulación reflexivo integrador (contenidos de enseñanza)*

La organización de los contenidos toma en cuenta los conceptos, los procedimientos y las actitudes. Esta organización considera relaciones entre los conceptos de manera que favorece el establecimiento de comprensiones para el caso del campo eléctrico. No hay una visión lineal acumulativa de los contenidos conceptuales, en su lugar se presentan argumentos que organizan los contenidos en relación con una secuencia de procesos de pensamiento, o desde una perspectiva de reflexión a partir de la experiencia. Se establecen relaciones entre los conceptos, especialmente en cuanto a sus usos para la comprensión de representaciones desde una perspectiva de comprensión holística o integral del fenómeno, que implica seleccionar y secuenciar contenidos para la organización de la experiencia en un contexto de significado (ver figura 21).

**Figura 21.** Nivel de formulación reflexivo-integrador



Aquí se hace evidente la integración de los contenidos temáticos, procedimentales y actitudinales, que ya existen en este nivel, a través de la autonomía y la capacidad dialógica que presenta el estudiante en el proceso de aprendizaje. El contenido ahora debe ser construido por los estudiantes con el fin de explicar las situaciones y fenómenos; ya no basta con solucionar problemas de lápiz y papel, ahora el estudiante debe analizar y explicar desde un punto de vista físico la respuesta que da a los procedimientos matemáticos que lleva a cabo en la solución de problemas. Otro avance importante en este nivel es que no se tiene una estructura definida para los contenidos dados por los libros de texto, estos se brindan basados en las experiencias previas de los estudiantes de modo que promueven en ellos la formulación de hipótesis y cuestionamientos. Los contenidos actitudinales están relacionados con el interés y los valores como el trabajo en equipo y la creatividad que tengan.

Desde el punto de vista epistemológico, en este nivel el profesor distingue los diferentes enfoques explicativos y los diferencia con aquellos que no satisfacen la experiencia o el cuerpo teórico propio de los fundamentos físicos del campo eléctrico. La clave de este nivel está en la forma como se integran estos contenidos para establecer análisis de situaciones particulares o ejemplos de problemas de lápiz y papel, o preguntas de los estudiantes, entre otros.

Por último, cabe anotar que la revisión documental permitió consolidar la matriz de progresión sobre los contenidos en la enseñanza de la física, específicamente respecto al campo eléctrico. El proceso se fundamentó en la constitución de cuatro niveles de referencia que permiten distinguir, entre otros aspectos, la polifonía del conocimiento del contenido físico del profesor en relación con el campo eléctrico, así como una forma de indagar tanto la diversidad como la complejidad de este conocimiento. Sin embargo esta complejidad, diversidad y polifonía no necesariamente pueden ser vistas como la transición de un nivel a otro, sino como el diálogo entre estos niveles, y en su intrínseca complejidad, referentes que invitan a considerar el CDC del profesor de física desde enfoques no homogéneos y que permiten una lectura más abierta y comprensiva de sus características. La tabla 4 sintetiza la hipótesis de progresión para el caso del conocimiento didáctico sobre los contenidos de enseñanza del campo eléctrico.

**Tabla 4.** CDC: Componente contenidos en la enseñanza del campo eléctrico

| | Hacia una hipótesis de progresión | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Acrítico** | **Lógico reflexivo** | **Innovador** | **Reflexivo integral** |
| Fuentes académicas | *Obligatorias.*<br>Los planes de estudio.<br>Los libros de texto. | *Obligatorias de análisis. Tienen el propósito de responder a* los planes de estudio.<br>Los libros de texto.<br>Guías de Laboratorio. | *Por demanda de la clase.*<br>Profesores, estudiantes, internet, libros, TV, expertos en física. | *Integradas a propósitos contextuales.*<br>Estudiante, profesor, currículo, orientación pedagógica. |
| Tipos de contenidos | Conceptuales (carga, ley de Coulomb, campo eléctrico, líneas de fuerza, potencial eléctrico). | Conceptuales: (carga, ley de Coulomb, campo eléctrico, líneas de fuerza).<br>Procedimentales: Guías de laboratorio con protocolos prestablecidos. | Conceptuales (basados en los fenómenos).<br>Procedimentales (asociados a la comprensión).<br>Actitudinales (interés personal, deseo por compartir y explorar). | Conceptuales (son referentes, pero no obligatorios en relación con criterios epistemológicos).<br>Procedimentales (solución de problemas, predicciones y proposiciones).<br>Actitudinales (trabajo colaborativo, comprensión de las acciones del otro, dialógico). |
| Enfoque de organización | Acumulativo. Lineal<br>Prerrequisitos: la física del grado anterior (leyes de Newton, superposición, campo gravitacional, fuerza, masa).<br>Secuenciación lineal de contenidos. | Acumulativo. Lineal con más fuentes.<br>Prerrequisitos: la física del grado anterior, los protocolos de informe de laboratorio.<br>Temas necesarios.<br>Aprendizaje lineal: primero conocer para luego aplicar. | Centrado en el interés de los estudiantes.<br>Sistémico para resolver situaciones prácticas.<br>Uso de analogías, campo eléctrico frente a campo gravitacional. | Integrador del conocimiento didáctico, pedagógico y físico.<br>Confrontación de conocimientos de corte metafórico, analógico (fenómenos mecánicos, térmicos y otros) y contextual. |
| Enfoque pedagógico | Transmisionista | Transmisionista | Descubrimiento espontáneo. | Constructivista |
| Perspectiva epistemológica | Indistinta, el campo no se diferencia fenomenológicamente de la interacción como acción a distancia. | Yuxtaposición de paradigmas (acción a distancia frente a acciones contiguas en el medio). Convivencia de paradigmas. | Discute las diferencias entre fuerza y campo. | Basada en la caracterización y diferenciación de perspectivas interpretativas del campo. Incluye la referencia ontológica de este, así como las representaciones posibles vía línea de campo u otras. |

## *Componente 2 del CDC. Las actividades: referentes conceptuales e hipótesis de progresión*

Las actividades que el profesor diseña y efectivamente desarrolla forman parte de su conocimiento didáctico del contenido. Así, tanto lo que se planea para que los estudiantes lleven a cabo como las acciones y decisiones que el profesor toma en la enseñanza interactiva, se constituyen en actividades características de su CDC, las cuales generalmente están asociadas a la determinación de tareas de clase, actividades teórico-experimentales, organización de situaciones, problemas y ejercicios en relación con los propósitos de la enseñanza.

Al respecto Driver y Oldham (1986) consideran que es a través de las actividades que se debería pensar y vivir el currículo, en lugar de darle tanto énfasis a los objetivos y contenidos conceptuales. La importancia de esta propuesta radica en considerar que el enfoque, con el que se piensen y se desarrollen las actividades, evidencia la relevancia dada por el profesor a cada uno de los componentes del currículo. Adicionalmente, conviene anotar que un listado de actividades inconexas tampoco es garantía de aprendizajes significativos. Al respecto, Sanmartí (2000) advierte que la *interacción* le es inherente a la planeación y secuenciación de las actividades en clase, sugiriendo considerar esta potente idea en una triada que relaciona *el profesorado, el material didáctico, y el alumnado* en cuyo centro se encuentra el "conjunto de actividades". Un aspecto adicional aquí es que la finalidad didáctica de las actividades permite estar pendiente de la coherencia entre lo diseñado y lo ejecutado.

Así, una sola actividad también adquiere un carácter polisémico al responder a diferentes objetivos de enseñanza. Se revela entonces que la organización y secuenciación de actividades tiene estrecha relación con el modelo de aprendizaje que el profesor tenga. En este sentido, en un enfoque transmisivo (el profesor emite información y el estudiante la recibe pasivamente) son coherentes con actividades que revelen acciones repetitivas, no reflexionadas, lecturas y desarrollo memorístico inconexo, explicaciones de los estudiantes sobre temas anteriormente informados, y "experiencias de tipo demostrativo" (Sanmartí, 2000, p. 255). En este caso los criterios de organización y secuenciación de actividades responden a miradas acumulativas y lineales de los contenidos, y en general se acompañan de posturas ideológicas que no discuten las organizaciones de las actividades de los libros o las guías de trabajo.

En un enfoque constructivista son coherentes actividades que revelen procesos de reflexión sobre las acciones e ideas en los estudiantes, es decir, actividades que promuevan procesos metacognitivos regulatorios en las formas pensar y actuar propios de los estudiantes. Aquí, el centro de promoción de actividades no necesariamente está en el profesor, sino en la interacción con el estudiante y sus reflexiones sobre las acciones y pensamientos. No habría entonces una lista o secuencia única de actividades, lo que hay más bien es una propuesta desde una perspectiva de construcción conceptual que requerirá, y le será propio, cambios y adecuaciones en el proceso de implementación.

Las actividades de este enfoque, a juicio de Sanmartí (2000) deben destacar la expresión de las ideas de los estudiantes, así como posibilitar su contrastación con la experiencia y las ideas de los compañeros; también deben propiciar el "establecimiento de nuevas interrelaciones, la toma de conciencia de los cambios en los puntos de vista, etc." (p. 255).

Sanmartí (2000) propone para la selección y secuenciación de actividades cuatro grandes rasgos, a saber:

1. "Actividades de iniciación, exploración, de explicitación, de planteamiento de problemas o hipótesis iniciales…" (p. 255), que consisten en actividades de apertura a las representaciones iniciales del objeto de estudio por parte de los estudiantes. En este sentido conviene que tengan en cuenta sus vivencias e interés, para así ser lo suficientemente potentes y motivarlos a desplegar sus ideas. En un sentido constructivista estas actividades se asocian a los procesos de detección de conceptos o conocimientos previos, utilizados por los profesores como punto de partida para abordar explicaciones y acciones en el aula.
2. "Actividades para promover la evolución de los modelos iniciales, de introducción de nuevas variables, de identificación de otras formas de observar y de explicar, de reformulación de los problemas…" (p. 256). Consisten en actividades que buscan la contrastación de ideas entre los estudiantes por medio del trabajo experimental, el análisis de situaciones, el uso de explicaciones analógicas, etc., con el propósito de revisar sus propias creencias o ideas sobre un objeto de estudio.

Hay aquí, a juicio de Sanmartí (2000) un supuesto estilo de hipótesis de progresión (García, 1998) en el sentido de organizar posibles formas de entender tanto los obstáculos como los grados de abstracción inherentes a un concepto específico. Es decir, el profesor puede ayudarse de una hipótesis de progresión en la medida en que esta plantee niveles de progresión en relación con actividades que propician la reflexión en los estudiantes, el enriquecimiento de sus sistemas de ideas y la movilidad hacia nuevas formas de comprender un fenómeno.

3. "Actividades de síntesis, de elaboración de conclusiones, de estructuración del conocimiento…" (p. 256). Consisten en asociar la actividad de los estudiantes a sus propios procesos de reflexión sobre lo que sabe. En una perspectiva transmisionista (o de falso constructivismo) esta síntesis la hace siempre el profesor, como sujeto que organiza sus conocimientos y los sintetiza en discursos, diagramas, cuadros, etc. En una perspectiva constructivista son los estudiantes quienes sintetizan lo que saben y por ello se insiste en actividades que promuevan la explicitación de sus ideas, la reflexión sobre sus formas de pensar y su contrastación con situaciones experimentales propuestas por el profesor o por los mismos estudiantes. Asociadas a estas actividades se encuentran las representaciones que los estudiantes puede hacer por medio de mapas conceptuales, diagramas, modelos matemáticos, resúmenes, cuadros sinópticos, etc.

4. "Actividades de aplicación, de transferencia a otros contextos, de generalización…" (p. 257). Consisten en extrapolar las nuevas formas de razonar o actuar frente a situaciones novedosas, que en principio deben ser más complejas que las iniciales. La utilización de las formas de razonamiento nuevas permite a los estudiantes aprender y evolucionar en el aprendizaje. Se pueden organizar pequeños proyectos o trabajos de investigación originales. Usualmente las actividades de aplicación son entendidas desde un enfoque transmisionista como actividades repetitivas de lo aprendido, que en cierto sentido contribuyen a una mecanización de las tareas en la clase. Pueden ser ejemplo de estas las semanas de la ciencia en las que los estudiantes reproducen esquemas o modelos trabajados en clase o que, en ciertas ocasiones, son elaborados por otros, y no por quienes estuvieron en el aula. Desde un enfoque constructivista estas tareas y actividades de miniproyectos deben ser generadas en conjunto con el profesor y deberán propiciar nuevos procesos de aprendizaje.

La perspectiva de Sanmartí (2000) sobre las actividades en relación con la finalidad didáctica propone explícitamente transitar de lo simple a lo complejo. Ahora bien, Cañal (2000) plantea que para el análisis de la dinámica en el aula, el estudio de las tareas permite examinar los contenidos y estas resultan de las interacciones que se dan en ella. Las actividades forman secuencias de enseñanza y también son muestra de las interacciones en el salón de clases como sistema, y como lo plantea Sanmartí (2000) las secuencias tienen un sentido o finalidad didáctica. En la propuesta de Cañal (2000) se aprecia una visión sistémica del trabajo del aula, donde los elementos se van definiendo por sus cambios, interacciones y formas de organización. Es interesante que las estrategias de enseñanza son ubicadas por Cañal (2000) como proyecciones de la organización y también tienen una finalidad didáctica. En este sentido propone tres tipos principales de actividades de enseñanza:

> Tipo 1. Actividades dirigidas a movilizar información: Activan contenidos a partir de fuentes de información como el profesor, el libro de texto, medios audiovisuales, el ámbito sociocultural y diversas fuentes.
>
> Tipo 2. Actividades dirigidas a organizar y transformar información: Desarrollan los procesos de organización de contenidos, (ordenar, clasificar y transformar), estructuración de contenidos, planificación y evaluación de procesos.
>
> Tipo 3. Actividades dirigidas a expresar información elaborada por los alumnos (resultados): Se requiere considerar la expresión oral, escrita, por medios audiovisuales y por otras vías (p. 222).

El modelo de Cañal (2000) es una aproximación teórica que brinda una visión organizada no solo para la revisión de unidades didácticas, sino para la valoración de estas ya que su propuesta incluye indagar por su desarrollo mediante protocolos de observación en un enfoque cualitativo de investigación.

En particular, para el caso de la física Pro y Saura (2000) proponen una secuencia de actividades para la enseñanza de las ondas considerando las siguientes fases:

1. Orientación: El profesor propone interrogantes o situaciones para que los estudiantes expliciten lo que piensan. Estas situaciones deben considerar los intereses de los alumnos y las conexiones con los temas tratados en clase.
2. Construcción de aprendizajes: Los estudiantes son inquiridos acerca de procesos como la observación, la diferenciación, el debate de ideas, la justificación, la identificación, la síntesis, la elaboración de modelos, el análisis, etc.
3. La aplicación: Los estudiantes contrastan sus ideas con situaciones nuevas.
4. Revisión: Se solicita la explicitación de los cambios producidos y de sus relaciones con la secuencia de enseñanza.

Etkina (2010) también contempla las actividades como componente del CDC en el sentido de estrategias eficaces que permite la comprensión por parte de los estudiantes. Para Etkina (2010) (ver tabla 5) este componente en la formación de profesores de Física se entiende como "El conocimiento de estrategias efectivas de enseñanza" (p. 020110-2). Este conocimiento es entendido con dos criterios:

1. "La organización de los múltiples métodos o de secuencias específicas de actividades que propician un aprendizaje más exitoso en los estudiantes".
2. "La habilidad para elegir la estrategia más productiva o modificar una estrategia para un grupo de estudiantes o para sujetos particulares" (p. 020110-3).

Así, la propuesta de Etkina (2010) destaca la importancia de secuenciar en relación con la idea de eficiencia en el aprendizaje, como forma indirecta de medir las estrategias, y lo asocia con la idea de habilidad para seleccionarlas, así como de cambiarlas, aspecto que se encuentra asociado fuertemente a las decisiones de clase y que están ligadas también a las características de los estudiantes o del grupo.

**Tabla 5.** Ejemplos de estrategias y actividades como componentes del CDC en profesores de Física

| Conocimiento físico | Conocimiento didáctico del contenido: tareas y actividades concretas |
|---|---|
| Leyes de Newton | Actividad: Explicaciones del profesor.<br>Conocimiento sobre la notación del concepto de fuerza etiquetándolo con dos subíndices, que indican que dos objetos están interactuando. |
| Corriente y diferencia de potencial | Actividad: Explicación con analogías. Conocimiento crítico sobre los alcances y limitaciones de utilizar la analogía entre una batería y una bomba de agua, porque podría no ser claro para los estudiantes ya que muchos no entienden cómo funcionan las bombas de agua. |

**Nota:** Ejemplos de actividades concretas que se enseñan a los profesores de Física enmarcadas en el desarrollo del CDC, según la propuesta de Etkina (2010, p. 020110-3).

Se coincide en este trabajo de tesis con los presupuestos de Sanmartí (2000) en el sentido de que no le es tampoco coherente a la didáctica la generación de leyes de la didáctica (Joshua y Dupin, 1993) y mucho menos prescribir perspectivas únicas en el desarrollo de actividades y tareas en la clase. En este sentido, el conocimiento didáctico del profesor de Física, que tiene en la base una epistemología polifónica (Perafán, 2004), se reconoce también polifónico en su caracterización, pero se deben relacionar con los presupuestos del CDC en el sentido de que posibiliten mejor la transformación del contenido físico en uno comprensible para los estudiantes, situación que precisamente fundamenta el problema de investigación de esta tesis en lo que corresponde a la caracterización del CDC en los profesores de Física en formación inicial.

### Secuenciación y organización de actividades en el caso de la enseñanza del campo eléctrico

Etkina y Van Heuvelen (2006) organizan su propuesta de enseñanza de la física basados en la perspectiva del sistema de aprendizaje activo orientado a procesos. Ellos consideran que los estudiantes "aprenden fácilmente física cuando activamente observan, explican, prueban, representan y evalúan explicaciones de fenómenos físicos que ellos encuentran en las experiencias cotidianas" (p. V). Con este enfoque las actividades se organizan en categorías subdividas en actividades, que ayudan a los estudiantes a desarrollar habilidades cognitivas y procesos científicos específicos para el aprendizaje y la aplicación de conceptos (p. V). Desde el punto de vista pedagógico de corte constructivista, esta propuesta enfatiza en el aprendizaje activo, cognitivo y procesual. Las categorías de Etkina y Van Heuvelen (2006) son:

1. La construcción y prueba cualitativa de conceptos. El razonamiento conceptual. Para cada situación representar la fuerza sobre una masa o carga de prueba (gravitacional o eléctrica) en el punto del espacio dado: a) La Tierra, una carga negativa y una positiva. En cada caso hay dos puntos dibujados a los lados izquierdo y derecho. A estos objetos se les denomina fuentes. b) Con sus propias palabras utilice la perspectiva de campo para explicar cómo el objeto fuente ejerce fuerza sobre el objeto prueba sin tocarlo, discuta la relación entre la magnitud de esta fuerza y la magnitud del campo y la carga de prueba en cada caso. c) Discuta cómo la presencia de masa o de carga altera el espacio hasta donde usted cree que se extiende esta alteración. d) Discuta cómo se compara la energía potencial gravitacional con la energía potencial eléctrica de la carga de prueba y su relación con la magnitud de la masa o de la carga fuente o prueba.

   Análisis de la definición operacional de E-campo: a) ¿Por qué está presente la carga de prueba en la definición si el campo eléctrico está presente aun cuando no lo esté la carga de prueba? b) Compara la similitud entre la definición de E-campo y g = (F/m). c). ¿Obtienes el mismo resultado para el campo eléctrico en un punto si usas una carga de prueba negativa o positiva? (pp. 15-120). Dibujando

vectores de E-campo para cargas colineales (pp. 11-15). Determinación del vector E-campo para el caso de cargas puntuales, colineales (pp.11-15).

2. La construcción y prueba cuantitativa de conceptos. Analizar la interacción entre cargas con masa (gravitacional y eléctrica, transición de acción a distancia a campo gravitacional en el caso de la Tierra), y actividad con electroscopio (describa, dibuje y explique usando la idea de campo eléctrico): 1. Acerque un cuerpo cargado a un electroscopio neutro sin tocarlo. 2. Retire el objeto cargado y aléjelo del electroscopio. 3. Repita los anteriores dos experimentos, pero esta vez con un vaso de vidrio cubriendo la esfera superior del electroscopio. Use cualquier equipo que usted considere para diseñar un experimento que le permita observar que dos objetos interactúan a distancia por medio de fuerzas eléctricas.
3. El razonamiento cuantitativo. Desarrollado por medio del cálculo del campo eléctrico E, dibujos y translaciones, así como por procesos de simplificación y representaciones físicas y matemáticas en las que se requiere evaluar y solucionar situaciones.

En estos aspectos se proponen las siguientes actividades específicas: representar y razonar; razonar, observar y explicar; diseñar experimentos; usar habilidades de razonamiento; deducir, explicar y diseñar estrategias de solución de problemas; evaluar soluciones, problemas regulares, ecuaciones jeopardy¨, diagramas jeopardy¨ que se basan en el concurso Jeopardy ® cuya mecánica consiste en que uno de los participantes selecciona uno de los panales de un tablero, que al ser descubierto muestra una pista en forma de respuesta, y la clave está en responder formulando la pregunta.

Ahora bien, Martín y Solbes (2001) en su propuesta alternativa para la enseñanza del campo se basan también en un enfoque constructivista, y recogen tareas y actividades asociadas a la "... formulación y resolución de problemas abiertos, emisión y contrastación de hipótesis..." (p. 396). En concreto distinguen productos de la investigación didáctica en relación con la "…resolución de problemas, los trabajos prácticos, la evaluación de conocimientos, las interacciones ciencia-técnica-sociedad…" (p. 396). Estos autores destacan una revisión bibliográfica de las estrategias que la literatura investigativa muestra en consonancia con las problemáticas de los estudiantes en la comprensión del concepto de campo; en especial mencionan los trabajos de Watts (1982), Domínguez y Moreira (1988), Nardi y Carvalho (1990), Furió y Guisasola (1993), Galili (1993, 1995), Nardi (1994), Bar, Zinn y Rubin (1997), Sneider y Ohadi (1998); Cudmani y Fontdevilla (1989), Meneses y Caballero (1995), investigaciones que ponen de manifiesto la necesidad de emprender tareas o actividades de enseñanza enfocadas a considerar las visiones epistemológicas subyacentes, en particular las de corte mecanicista, que tienen un peso bastante grande en las explicaciones (no reflexivas) de la interacción eléctrica. Sugieren también que los programas de formación contribuyen con este enfoque, y por lo tanto las actividades y tareas alternativas deben considerar esta realidad para implementar nuevas estrategias de formación.

### La representación como actividad en el aula: Flechas, vectores y líneas

Para este caso Törnkvist, Peterson y Transtrômer (1993) señalan que si bien no es algo nuevo detectar dificultades de comprensión sobre los vectores como entidades matemáticas, así como las subsecuentes representaciones de diferentes conceptos físicos, una alternativa para la enseñanza de campo eléctrico podría considerar el trazado de flechas de diferente tamaño así como la necesidad de acudir a representaciones integrales de las cantidades físicas asociadas, llamando la atención sobre la importancia de la "secuencia jerárquica de los conceptos (carga geometría-campo línea-fuerza vector (vector-velocidad-trayectoria)" (p. 338), dado que a su juicio este aspecto "no se ha entendido completamente" (p. 338). Este proceso es relevante en el marco del CDC del profesor de Física por cuanto las actividades de representación propias de su labor o las asignadas o construidas por sus estudiantes pueden enriquecerse. En este punto Arons (1990) sugiere considerar la bondad de representar las fechas con colores diferentes en relación con las cantidades físicas.

Martín y Solbes (2001) enmarcan su propuesta de actividades en un "[…] modelo de enseñanza-aprendizaje basado en ideas constructivistas, que prima aspectos propios de la actividad científica (formulación y resolución de problemas abiertos, emisión y contrastación de hipótesis [...])" que concibe el aprendizaje como una construcción de conocimientos por parte del alumno con las características de una investigación dirigida por un experto, el profesor. La alternativa de Martín y Solbes (2001) denominada "programas de actividades" se encuentra orientada por dos ejes fundamentales, el primero consiste en validar una aproximación temprana del concepto de campo eléctrico desde una perspectiva cualitativa (con la pretensión de involucrar a los estudiantes en contextos reales y simples) en los cuales la relación ciencia-técnica-sociedad se pone de manifiesto, y el segundo consiste en hacer una

> presentación del campo como agente de la interacción, dotado de realidad física, de energía y de momento, con existencia propia independiente de la fuerza, de forma que el alumno comprenda su necesidad, lo que nos lleva a no establecer dicotomía entre situaciones estáticas y cronodependientes y a prevenir la asociación entre energía y partícula mediante la clarificación de los aspectos energéticos en aquellas situaciones en las que interviene el campo (p. 396).

Estos dos ejes se articulan por medio de tareas y actividades concretas para desarrollar con los estudiantes, advirtiendo que consideran la propuesta de Galili (1995) sobre actividades en las que se toman referentes de la atracción gravitatoria por ser estos más de uso común para los estudiantes. Un resumen de las actividades propuestas por Martín y Solbes (2001) se muestra en la tabla 6.

Por último, conviene mencionar que en la base de la propuesta de actividades de Martín y Solbes (2001) se encuentran enfoques del tratamiento de los contenidos conceptuales con los cuales, tal como se ha mencionado, se busca contribuir en la comprensión del campo eléctrico desde dos perspectivas:

1. Cualitativa, con pretensiones de cuestionar la idea de que una partícula pueda afectar a otra a distancia.
2. Cuantitativa, asociada a un enfoque histórico que extrapola el caso gravitatorio al de las interacciones eléctricas y a las magnéticas, con la pretensión de reconocer los problemas de la interpretación mecanicista y la necesidad de la idea de campo.

**Tabla 6.** Actividades propuestas por Martín y Solbes (2001)

| | Actividades | | |
|---|---|---|---|
| | Estudio de la interacción gravitacional, y su relación con la eléctrica y la magnética | Introducción de aspectos energéticos en situaciones donde hay campos | Interacciones CTS |
| Nivel elemental | *Actividad. La idea newtoniana de acción a distancia entre los cuerpos presenta una serie de dificultades que no pasaron desapercibidas al propio Newton. Indica alguno de dichos problemas.*<br>*Actividad. ¿Cómo tendrá lugar la interacción entre dos masas distantes entre sí?*<br>*Actividad. ¿Cómo interpretarías el hecho de que la carga* q *experimente la existencia de otra carga* Q *situada a una determinada distancia? Es decir, ¿cómo tendrá lugar la interacción entre cuerpos cargados distantes entre sí?* | *Actividad. Cuando un cuerpo cae libremente se suele decir que «la energía potencial que el cuerpo posee en el punto más alto se va transformando en energía cinética». Justifica la corrección de esta expresión.* | *Actividad. Otras aplicaciones de la electrostática que podemos poner como ejemplo son la fotocopiadoras y el proceso de xerografía. Busca en la bibliografía adecuada cómo funcionan estos elementos técnicos y explica su funcionamiento a raíz de lo que ya sabemos sobre cargas eléctricas.* |
| Nivel superior bachillerato) | *Actividad. La idea newtoniana de acción a distancia entre los cuerpos presenta una serie de dificultades que no pasaron desapercibidas al propio Newton. Indica alguno de dichos problemas.*<br>*Actividad. La experiencia de Oersted pone de manifiesto que las fuerzas entre una corriente y una aguja magnética no van dirigidas según la línea de unión entre ambos cuerpos. ¿Implica esto alguna ruptura con la imagen newtoniana de las acciones a distancia?*<br>*Actividad. ¿Cómo tendrá lugar la interacción entre dos masas distantes entre sí?*<br>*Actividad. ¿Cómo interpretarías el hecho de que la carga* q *experimente la existencia de otra carga* Q *situada a una determinada distancia? Es decir, ¿cómo tendrá lugar la interacción entre cuerpos cargados distantes entre sí?* | *Actividad. La energía potencial* Ep *que podemos introducir siempre que tengamos un campo, ¿dónde puede considerarse localizada?* | *Actividad. Otras aplicaciones de la electrostática que podemos poner como ejemplo son las fotocopiadoras y el proceso de xerografía. Busca en la bibliografía adecuada cómo funcionan estos elementos técnicos y explica su funcionamiento a raíz de lo que ya sabemos sobre cargas eléctricas.* |

**Nota:** Actividades propuestas por Martín y Solbes (2001) para la enseñanza alternativa del campo en física.

### Actividades en los estándares del Ministerio de Educación Nacional

Para el caso de los estándares del MEN (2004) las actividades o los tipos de tareas pueden estar asociados a lo que se entiende como habilidades transversales a las disciplinas. Entre estas, el profesor de Física puede procurar habilidades específicas en torno al trabajo experimental (la toma de medidas, la organización de la información, el registro de resultados, el establecimiento de conclusiones), a la habilidad de interpretar información de diversas fuentes, gráficos, tablas, esquemas, asociada a la identificación de variables físicas. También se encuentra la capacidad de establecer "hipótesis", asociada a la formulación de preguntas en la observación, lo que puede verse como una manera de entender la lógica de la producción de conocimiento científico, fundamentada en la metáfora del investigador que se alimenta de la perspectiva positivista en la que el método científico permite la construcción de conocimiento científico. Sin embargo se incluyen procesos de puesta en común del conocimiento, así como los de contrastación de las ideas con las de los expertos, aspectos que el profesor podría organizar también como actividades propias del trabajo científico en que la validación está asociada a la comunicación y la capacidad de replicación de resultados, así como al poder de predicción de las teorías.

### Actividades de enseñanza del campo eléctrico en libros de texto

El análisis del contenido de libros de texto en física para la media vocacional en lo que respecta a la electricidad, y más específicamente al campo eléctrico, evidencia una tendencia mayoritaria a sugerir ejercicios de lápiz y papel como actividad principal.

**Tabla 7.** Actividades asociadas a la enseñanza del campo eléctrico en los libros de texto

| | Problemas de lápiz y papel, uso de ecuaciones | Lectura de ejercicios resueltos | Solución de ejercicios propuestos | Referencia analógica al campo Gravitacional | Representaciones con líneas de campo | Autoevaluación de logros | Solución de preguntas de aplicación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Zalamea, Rodríguez y París, 2001, Educar Editores | ■ | ■ | ■ | | | | |
| Morales, I. e Infante, E., 2005, Grupo Editorial Norma | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| Zitzewitz, P., Neff, R., Davids, M., 1995 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | |
| Hewitt, P., 1999 | | | ■ | ■ | ■ | | ■ |
| Villegas, M. y Ramírez, R., 1998, Editorial Voluntad | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ |
| Alonso, M., Acosta, V., 1986, Editorial Cultural | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ |

**Nota:** Tipos de actividades que algunos libros de texto de física incluyen en el tratamiento del campo eléctrico. Se marca en negro la presencia de la actividad en cada libro.

Estos ejercicios se plantean para entrenar en el análisis de aplicaciones de la ecuación de intensidad de campo eléctrico (E=F/q) y la ley de Coulomb, principalmente, y luego para revisar la ecuación del potencial eléctrico. Las actividades de los libros de la tabla 7 asocian el concepto de campo con la representación vía líneas de campo, sin mediar procesos de indagación o situaciones experimentales que inviten a elaborar argumentaciones o representaciones de este tipo.

Lo que hace la mayoría de estos textos es presentar las líneas como representaciones ya elaboradas del campo y el estudiante tiene que aprenderse sus distribuciones, si es para placas paralelas o puntuales, según los códigos asociados a los signos de la carga. Son pues actividades cerradas en las que los alumnos deben tomar el campo eléctrico como las líneas de fuerza, o que invitan a considerarlo en representaciones bidimensionales tan solo a lo largo de las líneas de fuerza que se dibujan. La idea de actividad cerrada también tiene que ver con situaciones asociadas a la solución de ejercicios de lápiz y papel con única respuesta y único procedimiento. Este aspecto se puede revisar también en el tratamiento que algunos libros de texto hacen a los ejercicios de ejemplo (ver tabla 8).

**Tabla 8.** Actividades experimentales de enseñanza sugeridas en algunos libros de texto, asociadas al campo eléctrico

| | **Actividades experimentales asociadas al concepto de campo eléctrico** | **Se muestra el montaje de distribución de líneas con diferentes configuraciones** |
|---|---|---|
| Zalamea, Rodríguez y París, 2001, Educar Editores | Sugiere el montaje de sémolas de trigo en aceite para carga puntual, dos cargas puntuales, una barra cargada y un aro cargado. | Si, sémolas de trigo en aceite |
| Morales, I. e Infante, E., 2005, Grupo Editorial Norma | Como aplicación de la electrostática se solicita que los estudiantes construyan una fotocopiadora con materiales asignados. | No, se dibujan las representaciones para carga puntual (+,-) (+,+) y placas paralelas. |
| Zitzewitz, P., Neff , R., Davids, M., 1995 | "Laboratorio de bolsillo". Se solicita cargar una espuma y acercarle una bolita cargada que experimenta un campo o se encuentra en un campo. | Sí, muestra trazos hechos por computador de las líneas de campo para dos cargas puntuales y para el caso de placas paralelas. |
| Hewitt, P. 1999 | No | Sí, trozos de hilo en aceite. |
| Villegas, M. y Ramírez, R., 1998, Editorial Voluntad | No | No, se dibujan las representaciones para carga puntual (+,-) (+,+) y placas paralelas. |
| Alonso, M., Acosta, V., 1986, Editorial Cultural Introducción a la física. Bogotá. | No | No, se dibujan las representaciones para carga puntual (+,-) (+,+) y placas paralelas. |

Finalmente conviene destacar que los aspectos centrales derivados del tratamiento teórico anterior sobre las actividades asociadas a la enseñanza del campo eléctrico son:

1. La necesidad de considerar una progresión de actividades en relación con una perspectiva que trasciende el transmisionismo y considere los aportes de los estudiantes, pero que pueda tener un carácter integrador.
2. La consideración de actividades que consideran los contenidos conceptuales en relación con las actitudes y las habilidades sociales.
3. El involucrar las actividades de orden procedimental asociadas a la discusión de las rutinas o protocolos tradicionales como guías preestablecidas.
4. La idea de considerar las actividades de los estudiantes como fuente principal de una perspectiva innovadora.
5. La relación entre las actividades y las perspectivas epistemológicas asociadas al campo eléctrico, en particular aquellas que diferencien la acción a distancia con las acciones contiguas.
6. La idea de experimentar para repetir, replicar y comprobar, propia de un enfoque más bien de orden transmisionista, se corresponde con una mirada acumulativa-lineal del tratamiento de los contenidos.
7. La consideración de enfoques reflexivos de orden integrador que involucren los intereses de los estudiantes y del profesor puede mediar las actividades en la clase de Física.



## Niveles de formulación para las actividades

A continuación se describe la organización de los niveles de formulación para el componente Actividades asociadas a la enseñanza del campo eléctrico.

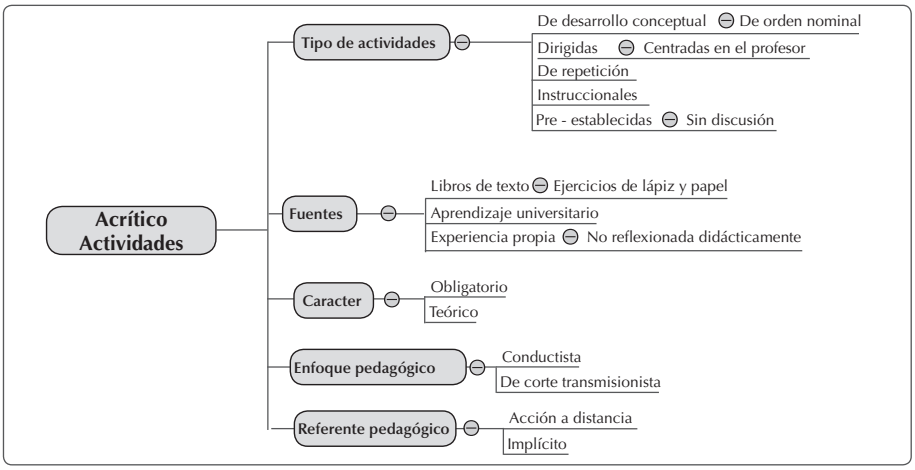
### *El nivel de formulación acrítico (actividades)*

Con la perspectiva acrítica el interés del profesor se centra en que los estudiantes repitan y sigan instrucciones, y valida como fuentes únicas los libros de texto y su experiencia de aprendizaje universitario, sin mediar transformación didáctica consistente con la enseñanza en el bachillerato, situación que también se revela al no explicitar una perspectiva epistemológica sobre el campo eléctrico que valide diferencias paradigmáticas entre la acción a distancia y el campo como formas explicativas de los fenómenos eléctricos.

Las actividades, por tanto, no se discuten con los estudiantes, por el contrario, se asignan para resolver, asumiendo una pedagogía conductista que valida

el transmisionismo como manera de aprender. Así, un docente que desarrolla su clase de forma tradicional, en la que la única actividad presente es brindar teoría en el tablero, y en la que el papel de los estudiantes consiste en consignar dicha información en su cuaderno, pertenece al nivel acrítico. En el aula de clases no hay actividades procedimentales ni en equipo o que promueven la creatividad, y son obligatorias las de los libros de texto —que básicamente consisten en desarrollar los ejercicios de lápiz y papel que están allí propuestos—, previamente organizadas, de manera que no se tienen en cuenta las ideas de los estudiantes (ver figura 22).

**Figura 22.** Nivel de formulación acrítico. Actividades




*El nivel de formulación reflexivo lógico (actividades)*

En la perspectiva reflexiva de orden lógico se seleccionan y llevan a cabo actividades atadas a la validación de desarrollos conceptuales a partir de la interpretación de las definiciones del mundo de la electricidad, ya sea de los libros de texto o de las guías de laboratorio. En este sentido hay un nivel de complejidad respecto al nivel acrítico por cuanto se permitiría como actividad que los estudiantes eventualmente discutan sobre el conocimiento físico, sin embargo esta apertura se vincula con un falso constructivismo interpretativo, pues en general lo que se hace es obedecer las instrucciones del profesor.

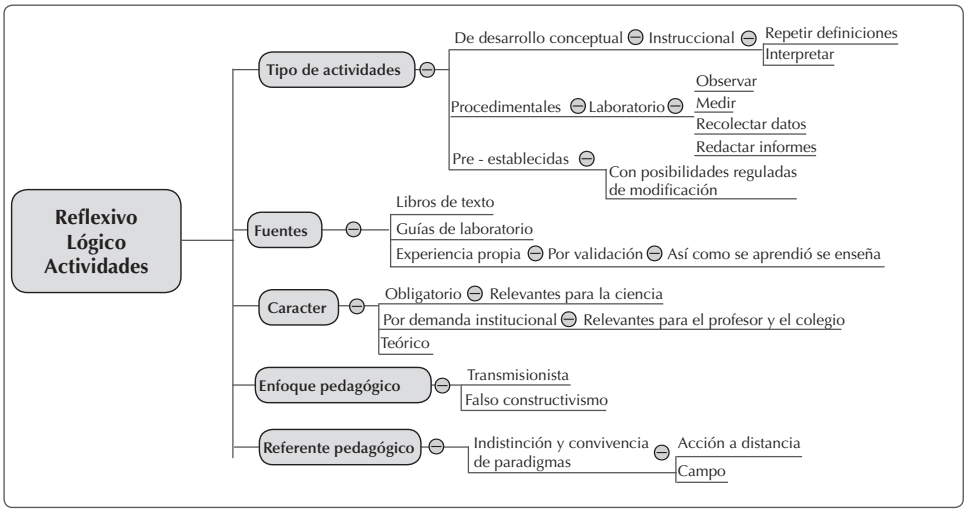
Ahora bien, en este nivel se incluyen actividades de corte procedimental, principalmente asociadas al desarrollo de laboratorios, los cuales también son obligatorios y obedecen a una perspectiva didáctica que valida la teoría como fuente de

la práctica, por ello procesos como la observación y la medición en atención a las instrucciones dadas son requisito de este tipo de actividad. Las actividades, por tanto, están preestablecidas y tienen posibilidades mínimas de ser modificadas.

En este sentido, sirven como fuentes en el desarrollo de actividades tanto los libros de texto, las guías de laboratorio como la experiencia propia de aprendizaje del profesor, aspecto que se valida aplicando una lógica causal: tal como me lo enseñaron así lo enseño. Esta perspectiva tiene un carácter fundamentalmente teórico en el que las actividades son importantes para la física, pero no necesariamente para los estudiantes y atiende demandas institucionales que resultan relevantes para el profesor.

Por último, se asocia a esta perspectiva un enfoque epistemológico que no distingue diferencias conceptuales entre la acción a distancia y el campo, como formas de interpretar fenómenos eléctricos (ver figura 23).

**Figura 23.** Nivel de formulación reflexivo lógico (actividades)



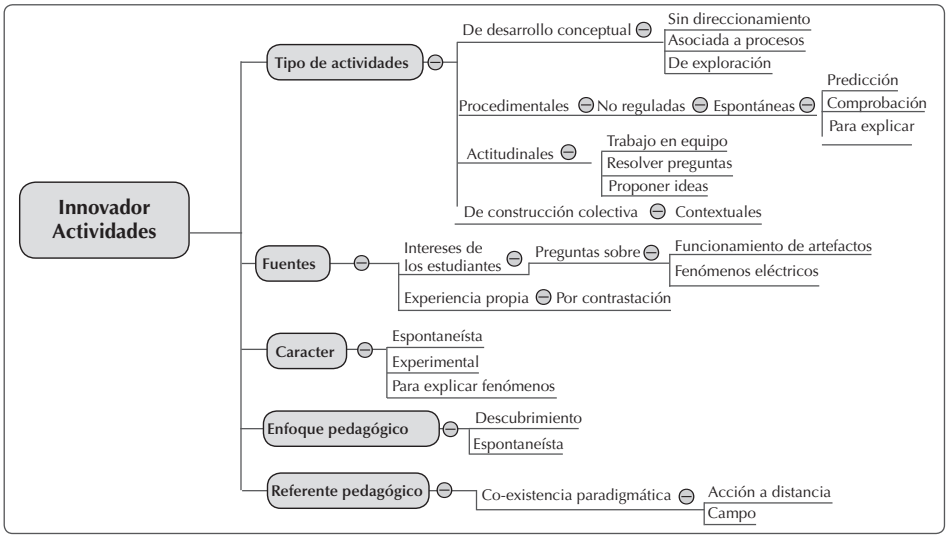

*El nivel de formulación innovador (Actividades)*

En el nivel innovador el docente escoge las actividades que va a desarrollar teniendo en cuenta los intereses de los estudiantes frente a la física, por lo tanto debe dar paso a la formulación de hipótesis por parte de los estudiantes, y a llevar a cabo actividades de reflexión en ellos que promuevan sus propios procesos de aprendizaje. Así, el desarrollo conceptual no necesariamente está atado a repetir definiciones del campo eléctrico, o resolver ecuaciones, sino a plantear preguntas y a procesos mentales como la predicción, la formulación de procedimientos y la reflexión de resultados. Aún así, en este nivel no se insiste en la formulación última de explicaciones o el consenso de

estas en el grupo, más bien se tiende al desarrollo individual de las capacidades cognitivas, vía los procesos mencionados. Por ello, las actividades procedimentales y las actitudinales procuran principalmente el trabajo en equipo y la proposición de ideas, atendiendo a los contextos y negándose a ser preestablecidas u obligatorias.

En este nivel las fuentes de actividades son los intereses de explicación de los estudiantes, la necesidad de satisfacer sus preguntas, ya sea sobre el funcionamiento de artefactos o sobre fenómenos eléctricos (rayo, electrización por fricción, por inducción, etc.). Adicionalmente, existe una fuente de construcción de las actividades: la experiencia propia del profesor reflexionada a manera de contrastación con las perspectivas de enseñanza que no le dan ningún rol al estudiante, es decir, que atienden a una lógica de negación del conductismo y de orientación de las acciones del estudiante. Este aspecto se relaciona consistentemente con una perspectiva pedagógica de descubrimiento de corte espontáneo, que da valor a la experimentación en la explicación de fenómenos, y que también discute la coexistencia paradigmática (acción a distancia frente a campo) que fundamenta las interpretaciones (ver figura 24). Son estos factores los que constituyen una enseñanza innovadora en el sentido de resignificar los focos de atención del docente a la hora de la enseñanza, en particular de descentrarse como sujeto protagónico e intelectual y ponerse al servicio de la interacción con el estudiante, y desarrollar actividades que surjan de preguntas de los mismos estudiantes y no del profesor. También es innovador en el sentido de disminuir las tensiones por respuestas únicas respecto a los procedimientos que se llevan a cabo.

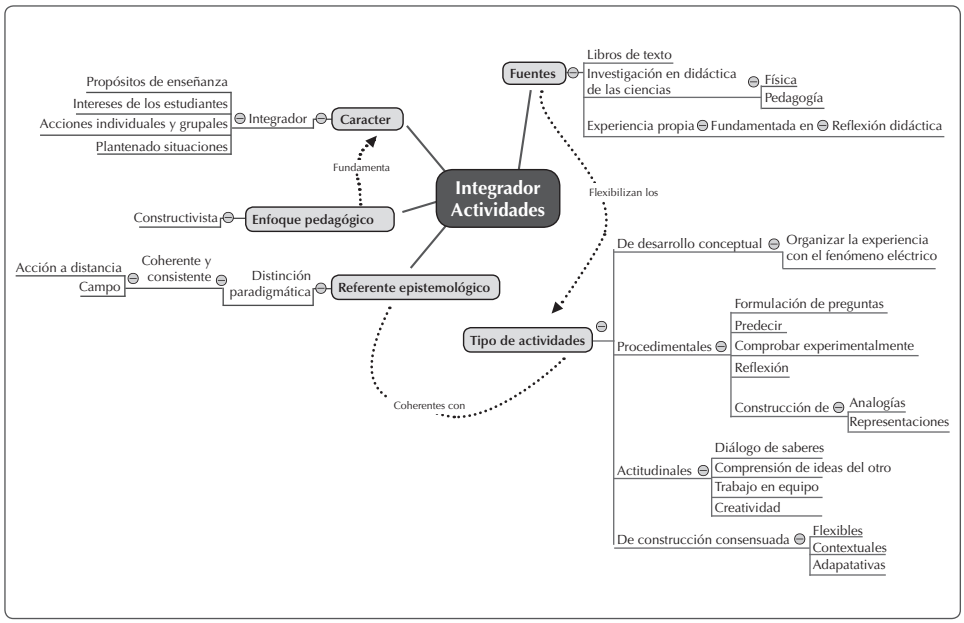
**Figura 24.** Nivel de formulación innovador (actividades)



*El nivel de formulación integrador (Actividades)*

Aunque es importante que el docente tenga en cuenta los intereses de los estudiantes, en este nivel debe integrarlos con la perspectiva pedagógica constructivista, por ello las actividades no están establecidas por los libros. Asimismo, las actividades procedimentales ahora surgen de la necesidad de explicar tanto preguntas de los estudiantes como del profesor, las cuales pueden ser construidas de manera consensual en atención a los contextos. En consecuencia el desarrollo conceptual responde a la necesidad de organizar la experiencia de aprendizaje en la que se atienden las preguntas, los procesos mentales y las actitudes como el intercambio de saberes y la comprensión de las ideas del otro. Para ello el enfoque constructivista alimenta consistentemente la integración de intereses y la posibilidad de tener flexibilidad en el desarrollo de actividades. También se hace consistente la necesidad de una distinción coherente de los enfoques paradigmáticos entre acción a distancia y teoría de campo (ver figura 25).

**Figura 25.** Nivel de formulación integrador (actividades)




La tabla 9 sintetiza la hipótesis de progresión para el caso del conocimiento didáctico sobre las actividades de enseñanza del campo eléctrico.

**Tabla 9.** CDC: Componente Actividades en la enseñanza del campo eléctrico

| | *Hacia una hipótesis de progresión* | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Acrítico** | **Lógico reflexivo** | **Innovador** | **Reflexivo integral** |
| Tipos de actividades | *De desarrollo conceptual:* De orden nominal.<br>*Dirigidas, centradas en el profesor.*<br>De repetición.<br>Instruccionales.<br>Preestablecidas sin discusión. | *De desarrollo conceptual:* Instruccional, repetir definiciones e interpretar.<br>*Procedimentales:* Resolver guías de laboratorio; observar, medir, recolectar datos y redactar informes.<br>Preestablecidas con posibilidades reguladas de modificación. | *De desarrollo conceptual:* No orientadas, de corte exploratorio y de procesos.<br>*Procedimentales:* No reguladas y asociadas a predecir, comprobar y explicar.<br>*Actitudinales:* Trabajo en equipo, resolver preguntar o proponer ideas.<br>De construcción colectiva, contextuales. | *De desarrollo conceptual:* Que permitan organizar la experiencia con el fenómeno eléctrico, consistente y coherentemente.<br>*Procedimentales:* Formular preguntas, predecir, comprobar y reflexionar. Por ejemplo mediante la representación del campo eléctrico, la creación de analogías.<br>*Actitudinales:* Promover el intercambio de saberes, el trabajo en equipo, la comprensión de las ideas del otro y la creatividad. De construcción consensuada, contextuales y adaptativas. |
| Fuentes | Libros de texto.<br>Aprendizaje universitario.<br>Ejercicios de lápiz y papel. Experiencia propia de aprendizaje no reflexionada didácticamente. | Libros de texto<br>Guías de laboratorio.<br>Experiencia propia de aprendizaje: Por validación, como se aprende se enseña. | Intereses de los estudiantes: Preguntas sobre el funcionamiento de artefactos o fenómenos eléctricos, entre otros.<br>Experiencia propia por contrastación. | Libros de texto.<br>Investigación en didáctica de la física.<br>Experiencia propia fundamentada en la reflexión didáctica. |
| Carácter | Teórico<br>obligatorio | Teórico procedimental.<br>Obligatorio: Relevante para la ciencia y no para el estudiante. Por demanda institucional: Relevantes para el profesor y el colegio. | Espontáneo experimental. Relevante para la interpretación de fenómenos. | Integrador teórico, experimental procedimental y actitudinal.<br>Relevantes para la comprensión de los fenómenos y el intercambio de saberes. |
| Enfoque pedagógico | Conductista de corte transmisionista | Transmisionista | Descubrimiento<br>espontáneo | Constructivista |
| Referente epistemológico | Acción a distancia | Indistinción y convivencia de paradigmas: Acción a distancia frente a campo. | Coexistencia paradigmática: Acción a distancia frente a campo. | Distinción coherente y consistente de orden paradigmático: Acción a distancia frente a campo. |

### *Componente 3 del CDC. Las ideas de los estudiantes: Referentes conceptuales e hipótesis de progresión*

Este componente del CDC se refiere a los conocimientos del profesor sobre las ideas de los estudiantes acerca del concepto de campo eléctrico. Son conocimientos que le permiten tener un panorama sobre los sistemas de ideas de sus estudiantes, considerarlos o no para el desarrollo de la clase y validarlos o no en el proceso evaluativo. En especial este componente se hace importante en la medida en que revela datos sobre la perspectiva pedagógica de la enseñanza que se asume, dado que en concepciones transmisionistas, por ejemplo, los estudiantes no poseen ningún conocimiento sobre el campo eléctrico, pero en posturas más constructivas sí tienen ideas sobre este concepto en asociación con situaciones o fenómenos. Etkina (2010) concibe este componente como "conocimiento de las ideas curriculares previas de los estudiantes cuando ellos están construyendo un nuevo concepto. Conocimiento de las dificultades que los estudiantes puedan tener interpretando el lenguaje de la física dado que es diferente al lenguaje cotidiano" (p. 020110-3).

Para el caso particular de la enseñanza del campo eléctrico, un aspecto relevante sobre el desarrollo de las ideas de los estudiantes consiste en las diferencias que se pueden establecer entre los conceptos de fuerza, campo y energía. Al respecto Martín y Solbes (2001) advierten como:

> [...] durante el proceso de enseñanza se olvida, frecuentemente, que las interacciones entre partículas pueden describirse de diversas formas (fuerzas, campos, energías, etc.), y podemos desorientar a los alumnos si no se clarifican suficientemente los conceptos, estableciendo sus relaciones, sus diferencias y ámbitos de aplicación (p. 393).

Esto implica considerar que la abstracción inherente al concepto de campo no siempre adquiere connotaciones familiares con la cotidianidad de los estudiantes, aun cuando esta situación no es ajena a conceptos de otras áreas de la física, lo cual se constituye en un conocimiento que no necesariamente deviene tan solo de la teoría de campos, sino que, también, involucraría el de teorías pedagógicas que acompañan la inclusión o detección de las ideas de los estudiantes. La posible diferencia entre estos conocimientos está asociada a los procesos de reflexión de los profesores sobre sus prácticas de clase, la toma de decisiones en ella y la investigación que lo evidencie.

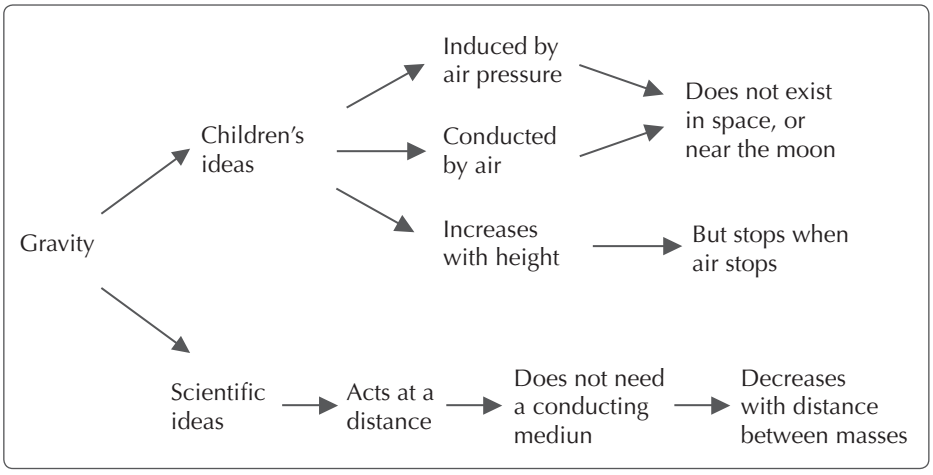
Cuando las ideas de los estudiantes se entienden en el marco de saberes previos, el profesor busca, generalmente, establecer relación entre los conceptos físicos y tales ideas, como por ejemplo los de carga eléctrica, fuerza o campo. Törnkvist *et al*. (1993) advierten sobre la importancia de considerar las "ideas difusas" que pueden tener los estudiantes sobre la fuerza y el campo de fuerza en relación con la manera como se dirige la enseñanza de las representaciones gráficas de estos conceptos con nociones asociadas. Como este estudio se lleva a cabo en la Universidad, se constituye en referente en cuanto se aproxima a los tipos de conocimiento de contenido que pueden influir en la mirada de las ideas de los estudiantes en los practicantes de licenciatura.

Es decir, que si se considera que las ideas sobre campo eléctrico de los pupilos pueden ser estudiadas o tenidas en cuenta en el proceso, uno de los criterios de referencia puede ser el asociado a las propias confusiones que el profesor practicante haya tenido en su formación, así son un referente para revisar las ideas de los pupilos.

Ahora bien, las ideas de los estudiantes también pueden ser incluidas en referencia a sus concepciones sobre la fuerza y la acción a distancia o el papel del medio en la interacción. Al respecto, Martín y Solbes (2001) han identificado que "El alumno no llega a conocer las diferencias que sobre la interacción entre partículas introduce la teoría de campos mediante acciones contiguas frente a la interpretación newtoniana a través de acciones a distancia" (p. 395). Esto merece la atención en cuanto posiciona en forma concreta cómo atender este tipo de dificultades desde la perspectiva del CDC. En este sentido Bar *et al*. (1997) encontraron en un estudio sobre ideas de los niños acerca de la acción a distancia, que aproximadamente 50% de los participantes sugirieron que la fuerza eléctrica necesita aire como medio conductor, lo cual, a juicio de estos investigadores, manifiesta una necesidad general de los niños por establecer una conexión entre los cuerpos.

Ahora bien, ya que en otro de los estudios de Bar *et al*. (1997) también se establece que los niños consideran la gravedad como la conexión necesaria para que los cuerpos caigan, se puede afirmar que las ideas de los estudiantes respecto a la interacción eléctrica, se componen de posibles analogías de orden implícito sobre el fenómeno de la atracción. Y aun cuando no se reflexione sobre el sentido de la repulsión propio de las cargas eléctricas de igual signo, sí se identifica la idea de conexión como fundamental para la interacción.

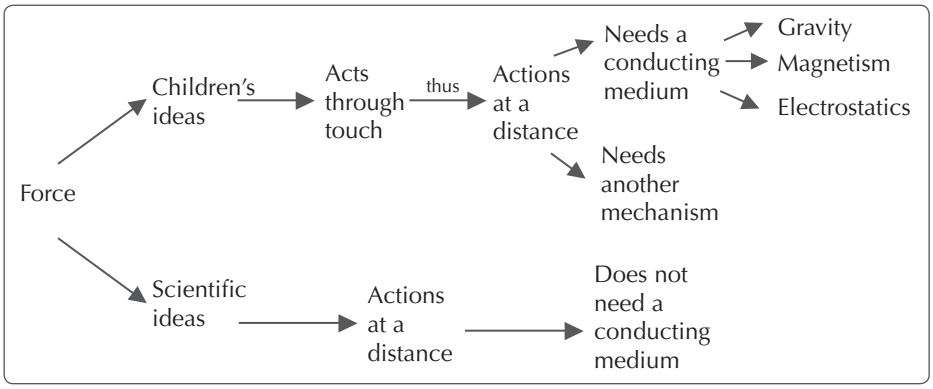
**Figura 26.** Ideas de los niños sobre interacción a distancia, caso de la gravedad




**Fuente:** Bar *et al*. (1997, p. 1139).

Bar *et al*. (1997) plantean que las ideas de los estudiantes pueden explorarse desde perspectivas asociadas a la gravedad, la fuerza, la electricidad, la atracción, la repulsión, la conexión entre cuerpos y la necesidad de un medio.

**Figura 27.** Ideas de los niños sobre interacción a distancia, caso de la fuerza




**Fuente:** Bar *et al*. (1997, p. 1139).

Para Bar *et al*. (1997), la idea de gravedad (ver figura 26) en los niños se asocia con características como la presión del aire, la conducción del aire y el incremento con la altura respecto al piso. En el caso de las dos primeras los niños afirman que la gravedad no existe en el espacio o cerca de la luna y, para el tercer caso, dicen que la gravedad se detiene cuando el aire se detiene.

Respecto a la idea de fuerza, Bar *et al*. (1997) también plantean que los niños le dan un carácter protagónico al contacto entre cuerpos (ver figura 27) de manera que se considera la acción a distancia en relación necesaria con un medio conductor o algún otro mecanismo. Es decir, como componente del CDC, se puede considerar que las ideas de los estudiantes sobre fuerza se constituyen en referente importante en la medida en que estas comienzan a jugar en sus explicaciones del campo eléctrico. Nótese que en este caso la idea de fuerza se puede ver desde una perspectiva algo *sustancialista* en el sentido de la necesidad del contacto, pero esto no necesariamente surge en los estudiantes de colegio pues aquí parece haber más elementos que van enriqueciendo sus ideas. Por ello, Furió y Guisasola (1998) encontraron que los estudiantes de bachillerato, e incluso de universidad, persisten en sus explicaciones newtonianas en situaciones directamente asociadas con el campo eléctrico, es decir, interpretan tomando en cuenta la acción a distancia y no el papel del medio. Esto se debe principalmente a que los estudiantes no establecen una clara diferencia entre dos conceptos: (a) intensidad del campo eléctrico y (b) fuerza eléctrica.

En cuanto a la idea de la necesidad de un medio, Furió y Guisasola (1998) identifican también dificultades conceptuales en los estudiantes a la hora de distinguir

la manera de entender la interacción eléctrica, ya que (incluso los universitarios familiarizados con el electromagnetismo) continúan interpretándola desde la perspectiva coulombiana. A juicio de estos investigadores, las respuestas erradas que los estudiantes dan a sus cuestionarios se acompañan de formas de razonamiento igualmente erróneas. Raduta (2005) considera que esta situación se encuentra asociada a dificultades de orden epistemológico centradas en formas de razonamiento que contemplan sentido común y simple casualidad, situación que podría tener sus orígenes en las formas tradicionales como se han dictado las clases de electricidad, pues su alto sentido acumulativo de contenidos no permite análisis cualitativos profundos de estos.

Raduta (2005) también señala que muchos estudiantes consideran el campo eléctrico desde una perspectiva estática. Es decir, aunque identifican que el campo eléctrico existe en el espacio y ejerce fuerzas sobre cargas, suponen que esta situación no cambia incluso en el caso de que una nueva carga entre a la región. Así, parecen atribuirle a la región una propiedad intrínseca inmutable, la del mismo campo eléctrico, es decir, que el campo es la región —inmutable— en sí misma. A juicio de Bagno (1986) este tipo de explicaciones tiene un asentamiento en algunos textos que exponen el campo eléctrico desde una perspectiva meramente intuitiva confundiéndolo con fuerza aplicada.

Ahora bien, se sabe que Viennot y Rainson (2002) han señalado la importancia de las ideas de los estudiantes sobre el campo en relación con las categorías: (a) Existencia de campo eléctrico solamente si hay movilidad de carga. (b) Sin corriente no hay campo. En estos casos subyace una noción causal de la existencia del campo, pues si no se notan los efectos se considera que este no existe. (c) La causa del campo está en la fórmula y tiene origen solamente en los conductores.

**Tabla 10.** Investigación sobre las ideas de los estudiantes y la enseñanza del campo eléctrico

| | Análisis | Dificultades |
|---|---|---|
| Martín y Solbes (2001) | Durante el proceso de enseñanza se olvida, frecuentemente, que las interacciones entre partículas pueden describirse de diversas formas (fuerzas, campos, energías, etc.), y podemos desorientar a los alumnos si no se clarifican suficientemente los conceptos, estableciendo sus relaciones, sus diferencias y ámbitos de aplicación (p. 393). | "El alumno no llega a conocer las diferencias que sobre la interacción entre partículas introduce la teoría de campos mediante acciones contiguas frente a la interpretación newtoniana a través de acciones a distancia" (p. 395). |
| Törnkvist et al. (1993) | Advierten sobre la importancia de considerar las ideas difusas que pueden tener los estudiantes sobre la fuerza y el campo de fuerza en relación con la manera como se dirige la enseñanza de las representaciones gráficas de estos conceptos con nociones asociadas. | Idea difusa de fuerza o de campo. |

| | | |
|---|---|---|
| Bar *et al.* (1997) | Las ideas de los estudiantes pueden explorarse desde perspectivas asociadas a la gravedad, la fuerza, la electricidad, la atracción, la repulsión, la conexión entre cuerpos, la necesidad de un medio. | La idea de interacción |
| Furió y Guisasola (1998) | Encontraron que los estudiantes del bachillerato, e incluso de universidad, persisten en sus explicaciones newtonianas en situaciones directamente asociadas con el campo eléctrico, continúan interpretándola desde la perspectiva coulombiana. | Persistencia en visión newtoniana |
| Raduta (2005) | La persistencia de la perspectiva de acción a distancia en la interpretación del campo eléctrico se encuentra asociada a dificultades de orden epistemológico centradas en formas de razonamiento que contemplan sentido común y simple casualidad. | El papel del sentido común y la causalidad simple.<br><br>Visión estática del campo. |
| Bagno (1986) | Los estudiantes parecen atribuirle a la región una propiedad intrínseca inmutable, la del mismo campo eléctrico, es decir que el campo es la región —inmutable— en sí misma. | Los textos imponen visiones inmutables del campo que refuerzan perspectivas intuitivas. |
| Viennot y Rainson (1992) | La importancia de las ideas de los estudiantes sobre el campo en relación con las categorías: (a) Existencia de campo eléctrico solamente si hay movilidad de carga. (b) Sin corriente no hay campo. En estos casos subyace una noción causal de la existencia del campo, pues si no se notan los efectos se supone que este no existe. (c) La causa del campo está en la fórmula y tiene origen solamente en los conductores. | Enfoque cuasiestático del campo.<br><br>Nociones causales lineales de la existencia del campo. |
| Viennot (2002) | En líneas generales la interpretación sobre los razonamientos de los estudiantes es organizada, con la consideración de que en su mayoría son causales lineales. | |

**Nota:** Los aportes de la investigación sobre ideas de los estudiantes y la enseñanza del campo eléctrico permiten distinguir algunas dificultades en su comprensión.

Los trabajos de Viennot y Rainson (1992) manifiestan las consecuencias de los niveles de escolaridad en la visión de campo de los estudiantes, la cual es la fragmentación del concepto que impide una visión integral. Este aspecto pone de manifiesto la importancia del estudio de la construcción conceptual que hagan los futuros profesores de Física sobre este tema en su proceso de formación docente, especialmente para el caso de la generación de propuestas de enseñanza. La interpretación de Viennot (2002) sobre los razonamientos de los estudiantes es, en líneas generales, organizada, tomando en cuenta que en su mayoría son lineales-causales, sujetos a *enfoques cuasiestáticos*, aspecto que en ocasiones se convierte, a su juicio, en obstáculo para comprender las respuestas correctas de la ciencia. En este sentido su interés está centrado en indagar los razonamientos asociados a la consideración del campo eléctrico en términos limitados espacialmente, es decir, lo que denomina

el "caso de efecto claro" (p. 215), y además en revisar "la atribución de un estatuto causal a las fórmulas" (p. 215).

Finalmente conviene destacar que los aspectos centrales derivados del tratamiento teórico anterior sobre las ideas de los estudiantes asociados a la enseñanza del campo eléctrico son:

1. El desarrollo de las ideas de los estudiantes debe trascender perspectivas pedagógicas trasmisionistas hacia perspectivas de orden constructivista.
2. Es posible identificar ideas de los estudiantes sobre los fenómenos eléctricos asociadas a explicaciones de orden causalista, lo cual implica comprender una alternativa didáctica que fomente su desarrollo hacia interpretaciones que busquen la comprensión sistémica del fenómeno.
3. Las ideas de los estudiantes son rescatadas por algunos profesores en relación estricta con las definiciones conceptuales, a partir de lo cual se implementan formas de validación o contraste. En otras ocasiones, las ideas de los estudiantes son las que van regulando tales contrastaciones por medio de acciones de baja intervención docente y más de generación de preguntas o retos que facilitan la predicción y comprobación.



Hay fundamentos teóricos subyacentes a las explicaciones de los estudiantes sobre la interacción eléctrica. En ocasiones estos se encuentran estrechamente relacionados con perspectivas de orden newtoniano, en las cuales el concepto de fuerza se vuelve eje de las interpretaciones. En otros casos, cuando estas ideas se confrontan surgen nociones similares al campo que mezclan la acción a distancia, o que suponen reduccionismos a casos particulares (ver tabla 10).

4. El desarrollo de las ideas de los estudiantes sobre el campo eléctrico debe incluir cuestionamientos sobre las visiones de acción a distancia para la interacción entre cuerpos electrificados.
5. Es posible indagar las extrapolaciones que hacen los estudiantes con otras formas de interpretar las interacciones eléctricas a la hora de explicar el campo eléctrico. Para ello son útiles las analogías.
6. Las explicaciones de los estudiantes sobre el campo eléctrico poseen un carácter ontológico, en el que la región del espacio o las líneas de fuerza resultan tener realidad inmanente, inclusive en relación con los cuerpos electrizados.
7. Para visiones pedagógicas conductistas, las ideas de los estudiantes sobre el campo eléctrico no son válidas o no existen. En otras perspectivas pedagógicas

las ideas sobre el campo existen y han de ser desarrolladas, en algunos casos mediante la experimentación y en otros con complementos en el intercambio de saberes.

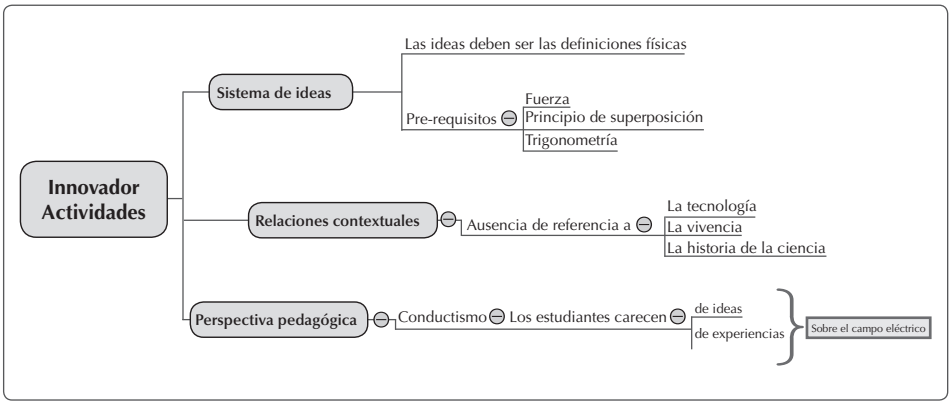
## Niveles de formulación sobre las ideas de los estudiantes

A continuación se describe la organización de los niveles de formulación para el componente "ideas de los estudiantes" asociadas a la enseñanza del campo eléctrico.

### *El nivel de formulación acrítico (Ideas de los Estudiantes)*

El docente de nivel acrítico supone que el estudiante tiene ideas de fuerza y de superposición ya elaboradas, y por tanto a partir de estas inicia la elaboración de los nuevos contenidos. Sin embargo no se relacionan los conceptos físicos usando analogías en conexión con las experiencias de la vida cotidiana de los estudiantes. La perspectiva pedagógica que prima en este nivel es el conductismo, asociada a la creencia de la inexistencia conceptual o vivencial del campo eléctrico en los estudiantes.

**Figura 28.** El nivel de formulación acrítico (Ideas de los Estudiantes)

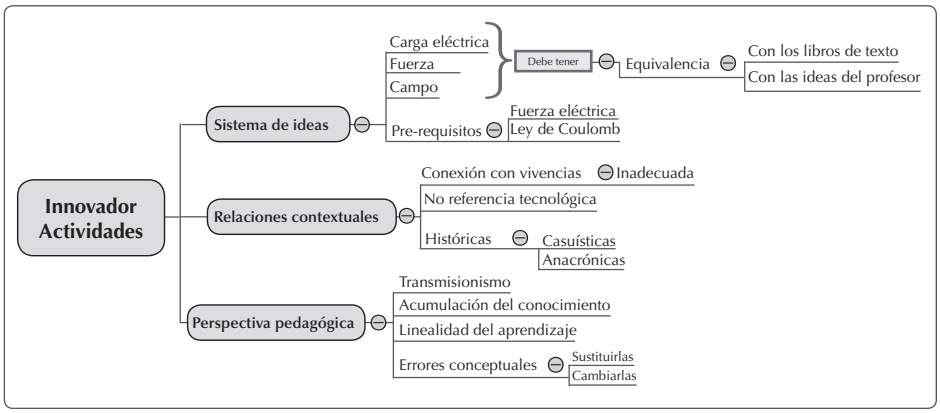



También se cree que las ideas de los estudiantes deben ser adquiridas de la información del profesor y de los libros de texto, en especial desde una perspectiva memorística en que el estudiante sabe sobre el campo eléctrico si repite con éxito tales definiciones y resuelve ejercicios prototípicos de lápiz y papel. Así, tanto la trigonometría como los contenidos conceptuales de la física del grado anterior son fundamentales y necesarios en el proceso acumulativo que le es inherente a esta perspectiva (ver figura 28).

*El nivel de formulación reflexivo lógico (Ideas de los Estudiantes)*

En el nivel reflexivo lógico las ideas de los estudiantes en cuanto a definiciones y conceptos deben ser iguales a las de los libros y las del profesor, aspecto que requiere una adaptación del lenguaje propio del estudiante en busca de la equivalencia con los términos utilizados por tales fuentes. En este nivel se hace necesario comprender que el estudiante tenga ideas previas, sin embargo se consideran erróneas, situación que en ocasiones puede entenderse como un falso constructivismo, pues tales ideas deberán ser reemplazadas por las de los libros o las del profesor. Por tanto, existen prerrequisitos obligatorios tanto en sentido acumulativo del saber cómo repetitivo memorístico de las definiciones; entre estos se encuentran las ideas de fuerza, fuerza eléctrica y carga eléctrica. Estas nociones carecen de referentes contextuales en el ámbito teórico o de la vivencia de los estudiantes, pues el profesor considera que los estudiantes requieren información del origen histórico de estas, pero en un sentido anacrónico, cronológico y casuístico. Por tanto, las ideas de los estudiantes se producen, pero no se desarrollan, y el contexto de producción es la clase con la información que el profesor y los libros suministran, esto implica asumir al transmisionismo como perspectiva pedagógica. Aun cuando en este nivel el profesor lleva a cabo laboratorios con guías de trabajo preestablecidas, las ideas que se pueden producir en este ambiente están reguladas por el grupo de datos y respuestas correctas que se deben presentar en los informes de laboratorio (ver figura 29).

**Figura 29.** El nivel de formulación reflexivo lógico (Ideas de los Estudiantes)

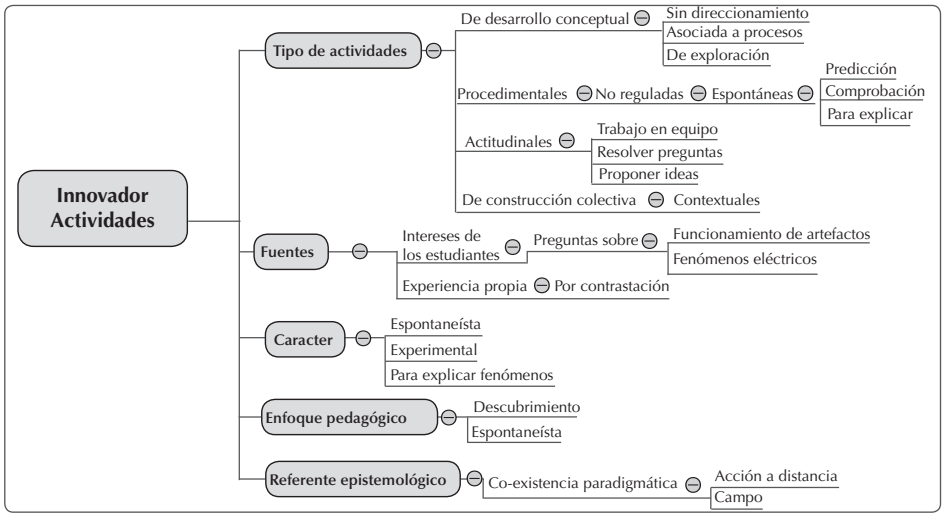



*El nivel de formulación innovador (Ideas de los Estudiantes)*

En el nivel innovador el profesor relaciona las ideas que tienen los estudiantes de acuerdo con sus intereses, considerando que aquellas no necesariamente deben ser iguales a las de los libros de texto, sino que se da espacio a la elaboración y análisis de los conceptos. El docente cree que las ideas de los estudiantes permiten

dar explicación a fenómenos, y que aunque pueden ser limitadas, se constituyen en conceptos válidos en la medida en que exponen experiencias concretas con situaciones asociadas al campo eléctrico y la electricidad. Un aspecto importante en este nivel es que todas las nociones de los estudiantes se tienen en cuenta en todo momento de la clase; enriquecerlas es la labor que debe hacer el docente, el cuestionamiento es fundamental pues el enfoque de tendencia de descubrimiento requiere la contrastación de ideas. Este proceso no se encuentra demasiado estructurado dado que valida la espontaneidad como factor que posibilita la independencia del estudiante, de sus ideas y de sus procesos. Existe aquí un interés en que los estudiantes den sentido a sus vivencias y se formen en desarrollar experiencias de acuerdo con sus especulaciones (ver figura 30).

**Figura 30.** El nivel de formulación innovador (Ideas de los Estudiantes)




*El nivel de formulación integrador (Ideas de los Estudiantes)*

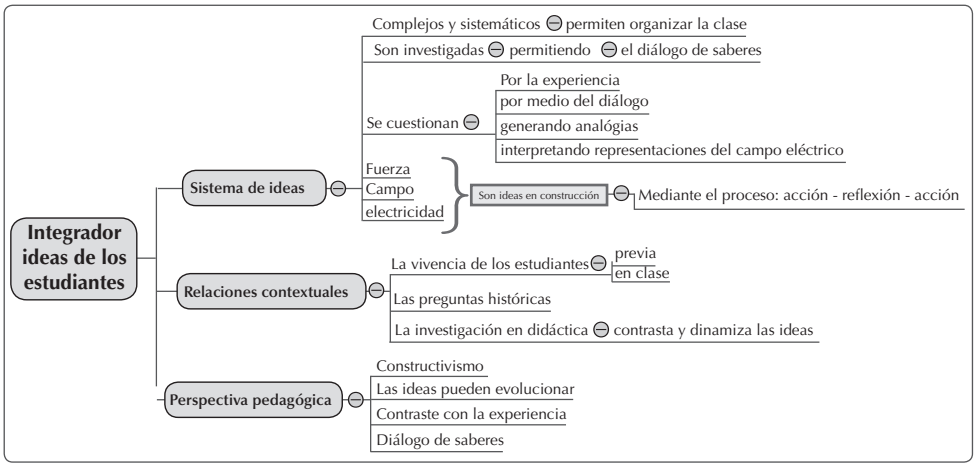
En el nivel integrador las ideas de los estudiantes son fundamentales para la organización de la clase. En este punto el docente debe tener una habilidad sumamente importante (habilidad base del conocimiento didáctico del contenido), y es que a partir de las ideas de los estudiantes desarrolla e implementa estrategias de enseñanza. Las experiencias de los estudiantes se dinamizan utilizando un lenguaje apropiado y comprensible, y evolucionan a través de la discusión en clase, donde el docente las relaciona con su entorno, lo que permite que estos propongan soluciones o respondan a sus cuestionamientos de forma autónoma.

Así, se asume una perspectiva de corte constructivista en la que las ideas pueden evolucionar en relación con las prácticas experimentales, los procesos de representación

y la generación de alternativas de comprensión del fenómeno eléctrico. Por ello se cuestionan mediante analogías y la discusión de las que ya existen sobre campo eléctrico, todo esto en el marco de una visión pedagógica que integra la vivencia de los estudiantes, las preguntas históricas, los resultados de investigación en didáctica de la física y los intereses de estudiantes y del profesor.

En este nivel tampoco se cierran las respuestas a las preguntas de los alumnos y del docente, sin embargo a diferencia del espontaneísta, la participación esta mediada por interés tanto de este como de aquellos frente a la necesidad de interpretar las formas de entender el campo eléctrico, su representación, su ontología, su diferenciación con las explicaciones tipo acción a distancia y otras preguntas relevantes para los actores de las clases (ver figura 31).

**Figura 31.** El nivel de formulación integrador (Ideas de los Estudiantes)




Así, la progresión (ver tabla 11) en cada nivel se hace evidente en la forma como el docente en el nivel inicial prácticamente no tiene en cuenta las ideas de los estudiantes y gradualmente estas adquieren significativa importancia hasta que en el nivel integrador son el fundamento para el desarrollo de su clase y para la formulación de nuevas estrategias de enseñanza.

Para esta investigación la caracterización del CDC del profesor de Física implica el estudio de sus procesos de planeación, acción y reflexión. El análisis documental que aquí se describe es relevante en cuanto integra las investigaciones sobre enseñanza de las ciencias, de la física y del campo eléctrico dado que muchos de estos estudios no se circunscribieron al CDC o al PCK en su momento. La perspectiva de progresión es solo un referente organizador de lo que se puede determinar a partir de los estudios.

La tabla 11 sintetiza la hipótesis de progresión para el caso del conocimiento didáctico sobre las ideas de los estudiantes, asociadas a la enseñanza del campo eléctrico.

**Tabla 11.** CDC: Componente ideas de los estudiantes en la enseñanza del campo eléctrico

| | Hacia una hipótesis de progresión | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Nivel I (acrítico)** | **Nivel II (lógico reflexivo)** | **Nivel III (innovación)** | **Nivel IV (reflexión integral)** |
| *Sistema de ideas* | Prerrequisitos: El estudiante debe conocer conceptos como la fuerzay la superposición, así como la trigonometría. | Equivalencia: Entre las ideas de los libros de texto, las del profesor y las de los estudiantes. En particular los conceptos de fuerza y carga eléctrica.<br>Prerrequisitos: Fuerza eléctrica y ley de Coulomb. | Complejos: Las ideas no se organizan en formas únicas; devienen de la experiencia; son abiertas y no se programan para responder asuntos concretos.<br>Deben enriquecer y no cambiar. Puede o no surgir el concepto de campo. | Complejos y sistémicos: Las ideas de los estudiantes son los fundamentos para organizar las actividades y discusiones en clase. |
| *Relaciones contextuales* | Ausencia del contexto tecnológico de los estudiantes. | Las vivencias no se relacionan con la idea de campo.<br>Las referencias históricas son casuísticas y anacrónicas. | Las vivencias de los estudiantes son fuente de desarrollo.<br>La experiencia se enriquece y nutre a los sistemas de ideas. | La investigación en didáctica permite contrastar propuestas de dinamización de las ideas.<br>Todas las ideas de los estudiantes acerca de la fuerza, la fuerza eléctrica y el campo eléctrico se relacionan con sus experiencias. |
| *Perspectiva pedagógica* | Conductismo. Los estudiantes no tienen ninguna idea ni experiencias previas acerca del concepto de campo eléctrico. | Transmisionismo o falso constructivismo. Las ideas del estudiante deben estar organizadas de una manera lineal y acumulativa.<br>Las ideas que tienen los estudiantes son erróneas, hay que cambiarlas. | Descubrimiento espontáneo.<br>Las ideas de los estudiantes les permite explicar los fenómenos eléctricos a partir de una perspectiva limitada, pero no inválida en absoluto. | Constructivismo: Las ideas del estudiante pueden evolucionar a través de la discusión y la prueba de experiencias; demuestran la coherencia y la consistencia si es que están relacionadas con la experiencia organizada. |

### *Componente 4 del CDC. La evaluación: referentes conceptuales e hipótesis de progresión*

Este componente del CDC se refiere a las ideas que sobre evaluación subyacen y se explicitan en las propuestas de enseñanza y en su desarrollo. Tanto los criterios como las herramientas revelan el CDC en el sentido de los procesos de verificación de aprendizaje que en el contexto de la enseñanza de las ciencias atiende cualquier profesor. Etkina (2010) propone que este es un conocimiento sobre los métodos de evaluación, en particular de la comprensión conceptual de los estudiantes, la resolución de problemas, y en general las capacidades científicas. Es también el conocimiento sobre cómo ayudar a los estudiantes a autoevaluar su trabajo y hacerlos partícipes de una reflexión significativa.

En este sentido la evaluación se puede entender de diversas formas, ya sea como un proceso continuo en el que el profesor desarrolla la interacción con los estudiantes y establece juicios cambiantes sobre los aprendizajes de estos, o como un proceso terminal en el que los juicios ya cualitativos o cuantitativos se generan al final del desarrollo temático y experimental (si es el caso). Geli (2000) desarrolla una síntesis al respecto del concepto de evaluación y manifiesta cómo la investigación educativa ha venido posicionando modelos innovadores de enseñanza que dejan ver cuatro rasgos característicos sobre la evaluación: (a) La idea de mejoramiento asociada a la evaluación; se evalúa para progresar y no para comprobar. (b) La evaluación continua como parte del proceso de enseñanza, que permita exponer el aprendizaje en todo momento. (c) La evaluación en un sentido global; se evalúan actividades, conocimientos y actitudes. (d) La evaluación obedece a ritmos personales de aprendizaje y por tanto es individual. Esta visión de evaluación tiene un carácter constructivista, que comprende que el estudiante tiene un sistema de ideas y le permite un proceso de explicación y argumentación sobre un fenómeno, susceptible de transformación o de construcción.

Sin embargo esta visión innovadora no siempre se encuentra en la base de las propuestas y en el desarrollo de evaluaciones en la acción didáctica, así que vale la pena mencionar que desde una perspectiva en la que se hace énfasis en la transmisión de conocimientos, la evaluación tiene un carácter terminal y de control. Está, a su vez, asociada a los sistemas de prerrequisitos, pues sirve como garante para que se avance de un curso a otro. En este sentido es una evaluación que lo tiene todo previsto y su incumplimiento revela que los estudiantes no han aprendido.

Este concepto de evaluación también ha sido investigado y revisada su lógica interna, así es coherente con las consideraciones sobre pruebas de entrada que examinan si en "verdad" los estudiantes tienen los conocimientos para iniciar un curso o un tema. Pero también es coherente con la consideración de que estos conocimientos están acumulados y no se relacionan con lo nuevo en ningún sentido, por lo

tanto los estudiantes no saben nada del tema que van abordar y sus ideas anteriores sobre otros temas tampoco les servirían de mucho si los siguen "aprendiendo" de forma desagregada. Aun así se toma aquí la evaluación como un proceso objetivo desde una perspectiva epistemológica positivista.

### Las competencias y los estándares del MEN

El documento de los estándares básicos del MEN (2004) tiene como aspecto transversal el concepto de competencia. Aquí se organizan los estándares en lo que se denomina una secuencia transversal de complejidad creciente y se agrupan en conjuntos de grados desde la perspectiva del saber y el saber hacer. Aunque se reconoce una intención de valorar no solo los contenidos conceptuales de las asignaturas, el documento revela la necesidad que tiene el MEN (2004) de que la evaluación sea entendida como un proceso necesario en el que

> los estándares se articulan en una secuencia de complejidad creciente y se agrupan en conjuntos de grados, estableciendo lo que los estudiantes deben saber y saber hacer al finalizar su paso por ese conjunto de grados, así: de primero a tercero, de cuarto a quinto, de sexto a séptimo, de octavo a noveno y de décimo a undécimo (p. 5).

Es una propuesta que entiende la evaluación en un sentido ambiguo: por un lado le da importancia a los procesos de formación en el conjunto de grados, pero también afirma y explicita la necesidad de tener claro lo que los estudiantes deben saber y saber hacer al final de este, por lo tanto aquí es imperativo y terminal.

Otro aspecto que se manifiesta como transversal a los estándares del MEN (2004) consiste en que las competencias están supeditadas a los conceptos de la ciencias, característica que no es ajena a este tipo de propuestas, pues en el caso de los estándares de competencias franceses, por ejemplo, el trabajo de Denyer, Furnémont, Poulain y Vanloubbeec (2007) manifiesta esta situación, la cual a juicio de estos expertos: "[…] revela un proceso que consiste en meter las competencias en el molde de la materia que se va a enseñar (los contenidos/el programa) y no al revés" (p. 71). Así, para el caso que nos ocupa, en los estándares del MEN se indica lo siguiente:

- Establezco relaciones entre campo gravitacional y electrostático y entre campo eléctrico y magnético.
- Relaciono voltaje y corriente con los diferentes elementos de un circuito eléctrico complejo y para todo el sistema.
- Establezco relaciones entre fuerzas macroscópicas y fuerzas electrostáticas. (MEN, 2004, p. 23).

En estos casos y en general en los procesos físicos, químicos y biológicos se manifiesta el carácter aún absolutista e inmutable que tienen los contenidos conceptuales en el diseño de competencias, aspecto que genera ambigüedades y contradicciones para los profesores en ejercicio y en formación por cuanto esta visión se contradice con los presupuestos básicos de la formación por competencias cuando formulan que "… los conocimientos cobran algún sentido en la medida en que permiten adquirir las competencias generales y las competencias específicas" (Denyer *et al.,* 2007, p. 72). Este aspecto tiene implicaciones de orden generalmente causal en la evaluación, específicamente en favorecer la evaluación de contenidos por medio de las enunciadas competencias, perdiendo el sentido formativo que tendría hacer elaboraciones de otro orden, en las que las competencias no sean conceptuales sino de procesos y habilidades.

La evaluación que tiene en cuenta este tipo de propuestas o referentes puede entenderse como normativa, lo cual tiene implicaciones en los criterios y herramientas asociados al cumplimiento de las pretensiones de aprendizaje trazados por políticas educativas. Algunos de estos tendrían que ver con la necesidad de establecer conexiones entre el saber y el saber hacer vía contenidos conceptuales, aspecto que, como se ha mencionado, no resulta del todo claro aún.

### La evaluación sumativa, formativa o mixta

Para el caso del conocimiento didáctico del contenido del profesor de Física en formación inicial, se entenderá que este podría estar influenciado por las corrientes de evaluación normativa en el sentido de definir criterios en que los contenidos conceptuales son transversales a las competencias o a los estándares. La norma fundamental aquí sería la utilización acrítica de los estándares en su organización de valoraciones sobre los aprendizajes de los estudiantes.

Una perspectiva usual de la evaluación tradicional (acumulativa, terminal, causal-lineal, transmisionista) toma los exámenes, los test, el "quiz", el "parcial", la "previa", el informe de laboratorio, etc. como actividades de evaluación en sí mismas, aquí no se necesita nada más ya que el conjunto de estos, o su suma, muestra el aprendizaje de los estudiantes. Sin embargo estas "actividades" no son más que técnicas de recolección de información sobre las cuales reposan las decisiones terminales de la aprobación o no de una materia. Los criterios asociados a este tipo de visiones sobre la evaluación están condicionados por la idea de transmisión de conocimientos y por lo tanto se basan en el grado de fidelidad que manifiestan los indicios de los datos (la información recolectada) con la verdad de la ciencia. Así, incluso hay situaciones de enseñanza en los cuales se utilizan los mismos instrumentos durante muchos años, pues la inmutabilidad de los conceptos lo permite y en este sentido las herramientas de evaluación son las mismas actividades que terminan

siendo prueba esencial para certificar los aprendizajes. Algunos criterios asociados con este tipo de evaluación son:

1. Tareas predefinidas para todos los estudiantes.
2. Procesos únicos de solución de tareas, ejercicios de lápiz y papel y problemas.
3. Evaluación sumativa, acumulativa, lineal-causal, y terminal.
4. "Expresan que la evaluación es un proceso separado de la enseñanza" (Atorresi, 2010).
5. "No incluyen devoluciones que sirvan para reconocer las razones de los aciertos y falencias y para subsanar estas últimas" (Atorresi, 2010).

Ahora bien, desde una perspectiva distinta, usualmente con referentes constructivistas, la evaluación se entiende como un proceso que valida las ideas previas de los estudiantes en un sentido más bien progresivo o de cualificación, e involucra tanto la recogida de información como su respectivo análisis, así como la interpretación contextual y la consecuente toma de decisiones que está asociada a la emisión de juicios valorativos sobre la situación o nivel de aprendizaje.

Este tipo de evaluación se asocia con lo que también se ha denominado evaluación formativa, la cual se constituye en conocimiento profesional del docente en cuanto se toma como proceso que requiere sistematización y análisis de información, así como decisiones argumentadas. Para Mendoza (1998), por ejemplo, a la evaluación formativa le es inherente el proceso de reflexión del profesor sobre alternativas de cualificación de la enseñanza con la consecuente calidad en el aprendizaje. Es formativa entonces en el sentido de la generación de mejoras en estos aspectos.

La evaluación formativa, como alternativa del trabajo docente, ha sido considerada últimamente materia de estudio y promoción por parte de la Secretaría de Educación de Bogotá (SED). En efecto, en uno de sus recientes documentos la SED (2010) plantea la evaluación en ciencias naturales desde esta perspectiva, que se encarga de cuestionar la evaluación sumativa en el sentido de discutir su carácter meramente examinador y de certificación o clasificación, y pasar a darle su lugar como referente de avances del estudiante en un sentido acumulativo. También destaca el valor de una evaluación que dé información relevante al profesor y al estudiante, basada en criterios de desempeño. En este sentido concluye que: "… una buena evaluación, con carácter formativo, debe quedar perfectamente integrada al proceso de enseñanza y responder a sus objetivos" (SED, 2010, p. 17).

Adicionalmente, se presenta la evaluación formativa fundamentada en el enfoque de Atkin, Black y Coffey (2001), quienes plantean que esta se orienta por tres preguntas fundamentales:

a. ¿A dónde tratas de ir? (Identificar y comunicar los objetivos de aprendizaje/rendimiento).

b. ¿Dónde estás ahora? (Evaluar, o ayudar a los estudiantes a evaluarse, los niveles actuales de comprensión).

c. ¿Cómo puedes llegar ahí? (Ayudar al estudiante con estrategias y habilidades para alcanzar la meta) (Atkin *et al.,* 2001, p. 14).

Estos autores recogen la propuesta inicial de evaluación formativa de Sadler (1989) y la organizan en el marco de los estándares nacionales de ciencias de Estados Unidos. Además, reconocen en la evaluación formativa diferentes propósitos, roles y responsabilidades tanto de estudiantes como de profesores, casi en exclusiva para estos últimos a diferencia de la evaluación sumativa, que asume estos roles en relación con exámenes externos. En últimas, existen relaciones fuertes entre los dos tipos de evaluación (sumativa y formativa) que tejen el trabajo del profesor y que terminan por involucrarlo en la definición de juicios de valor argumentados sobre los aprendizajes de los estudiantes.

Un aspecto adicional sobre el enfoque de la evaluación formativa es el de la elaboración de indicadores que se fundamentan en criterios. Para el caso de la propuesta de la SED (2010), la evaluación formativa tiene un gran papel si se organiza la enseñanza de las ciencias por indagación. En este caso hay cuatro estrategias básicas sobre las cuales trabajar con los estudiantes en la clase de ciencias que son:

1. Las preguntas y su formulación.
2. La recolección y tratamiento de información.
3. La elaboración de hipótesis, predicciones o explicaciones.
4. El diseño y la planificación de experimentos.

### Evaluación formativa y enseñanza de la física

Como parte de una propuesta que reconozca la importancia de la evaluación formativa y de la sumativa, Etkina (2002) discute algunas actividades de evaluación que pueden ayudar a los estudiantes a centrarse en los aspectos relevantes del trabajo de científicos e ingenieros. La propuesta tiene como fundamento el mensaje que se les da cuando se usan ciertos tipos de técnicas y actividades de evaluación. Por ejemplo, desde un enfoque usual se utilizan exámenes, quizzes e informes de laboratorio y con esto lo que se le dice al estudiante es que se debe centrar en la comprensión de los conceptos y aprender cómo aplicar ecuaciones en la solución de problemas, así como ser capaz de registrar e interpretar resultados experimentales.

Sin embargo, advierte Etkina (2002), los retos de la vida real son diferentes a los organizados y bien definidos de la vida académica. Así, aunque desde esta

perspectiva el mensaje sea bueno la relación con la vida real es muy débil. Es decir, un criterio para una evaluación alternativa podría ser el nivel de relación que tienen las actividades de evaluación con los retos cotidianos, que se caracterizan principalmente por ser complejos y que para su solución requieren la construcción misma de problemas, el diseño de investigaciones y productos y el trabajo colaborativo (Etkina, 2002). Por otro lado, Anderson y Kraftwohl (2001) definen la evaluación como la elaboración de juicios basados en criterios y estándares. A este respecto Warren (2006) considera las estrategias de evaluación como a la asociación de criterios, estándares y métodos de aplicación cuando se trata de hacer una evaluación sobre procesos o productos en la enseñanza de la física. A su vez, este autor caracteriza las actividades de evaluación formativa desde la perspectiva de Black y William (1998):

> En la evaluación formativa, el profesor tiene que escoger entre dos opciones. La primera es ayudar a desarrollar la capacidad de sus estudiantes para reconocer distinguir todos los vacíos y darles la responsabilidad de planear y llevar a cabo las acciones remediales que puedan necesitar. Esta primera opción implica el desarrollo de la capacidad de autoevaluarse y colaborar en la evaluación colaborativa con otros. La segunda es para que los mismos profesores tomen responsabilidad en la generación de información estimulante y que oriente las actividades subsecuentes (p. 23).

Actividades que están asociadas a los principios generales de la evaluación formativa basada en las tres preguntas claves de Sadler (1989). Se podría decir que uno de los criterios de esta evaluación formativa es generar en los estudiantes y profesores una comprensión sobre lo que se busca, lo que se tiene y las formas de mejorarlo. Así, parece haber un criterio bidireccional en la formación, vía la comunicación entre profesor y estudiante. Para esto, Warren (2006) sugiere el desarrollo de una matriz de valoración en la que se expliciten los diferentes niveles de rendimiento y que puedan ser utilizados por estudiantes y profesores. Esta matriz tiene un carácter organizativo e informativo y puede estar acompañada por comentarios verbales por parte del profesor o del estudiante, que conviertan la evaluación en un proceso más personalizado.

### *La evaluación en la enseñanza del campo eléctrico*

La perspectiva de evaluación puede tener también referentes disciplinares muy marcados y asociados con las comprensiones que se acercan mayoritariamente al mundo de la física. Para este caso conviene tener elementos que permiten valorar este componente del CDC de los practicantes. En este sentido, y apelando a la idea de los errores conceptuales de los estudiantes, Tornkvist *et al*. (1993) consideran que existen errores conceptuales asociados a la comprensión de las trayectorias posibles de una carga en un campo cuando se asocian en su mayoría a las líneas

de fuerza. Raduta (2005) señala cómo las falsas preconcepciones de la mecánica o las analogías que los estudiantes hacen entre campo eléctrico y campo magnético son fuentes de errores conceptuales. La noción de errores conceptuales no discute la posibilidad de que los estudiantes tengan ideas sobre los objetos o fenómenos de la física, es un primer alejamiento de la postura transmisionista aunque, obviamente, descalifica las concepciones de los estudiantes y generalmente busca reemplazarlas por las "verdaderas".

*Estrategias de enseñanza asociadas a la autoevaluación de procesos*

Las tareas de evaluación están intrínsecamente asociadas a lo que se pretende lograr en los estudiantes. El grupo Paer (2010) define cinco tipos de tareas de evaluación fundamentadas en un solo principio básico: que los estudiantes deben evaluar de alguna manera la solución de un problema propuesto. Los tipos de tareas asociados a la enseñanza de la física son:

1. Evaluación por comparación: Consiste en asignar soluciones a problemas específicos en las cuales se encuentran errores típicos que deben ser determinados por los estudiantes cuando estos solucionan por sí mismos el ejercicio o problema. También se hace para revisar la consistencia entre diferentes representaciones.
2. Evaluación por análisis dimensional: Consiste en solicitar a los estudiantes la revisión de las dimensiones de las cantidades físicas en la solución de un problema o ejercicio determinado.
3. Evaluación por análisis de casos límite/especiales: Se les asigna a los estudiantes un problema/modelo/demanda conceptual y se les pide determinar si tiene sentido en cierto caso límite o especial
4. Evaluación por análisis de presupuestos: Se les asigna a los estudiantes la solución a un problema determinado y se les pide que identifiquen y evalúen los presupuestos o hipótesis que se requieren para dar una respuesta adecuada, y también que identifiquen factores que generen presupuestos falsos.
5. Evaluación por estimación: Se les presenta la solución de un problema o un modelo, y se les pide su evaluación al comparar las magnitudes de las cantidades de la ecuación. Esto se hace varias veces en ciertos casos hasta corregir la solución dada.

Habría entonces una relación entre el conocimiento sobre la evaluación y las actividades o tareas que se solicitan. Finalmente conviene destacar que los aspectos centrales derivados del tratamiento teórico anterior sobre la evaluación asociada a la enseñanza del campo eléctrico son:

Hacia una hipótesis de progresión

1. La necesidad de considerar una progresión de evaluación respecto a una perspectiva que trasciende aquellas de orden enciclopedista, que evalúan la cantidad de contenidos conceptuales vía memoria, hacia una evaluación que distinga el carácter formativo de la enseñanza de la física y la tome como un proceso integrador.
2. La evaluación en la clase de Física debe estar referida a contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales.
3. Evaluar es un proceso y no un acto terminal.
4. Los estudiantes deben participar del proceso de evaluación.
5. Las competencias son un referente para la evaluación, pero no el único para que esta sea integral, en especial si están sesgadas hacia los contenidos conceptuales solamente.
6. La evaluación de capacidades y habilidades como la interpretación, la inferencia, el establecimiento de regularidades y la organización de la información son relevantes en la enseñanza de la física.

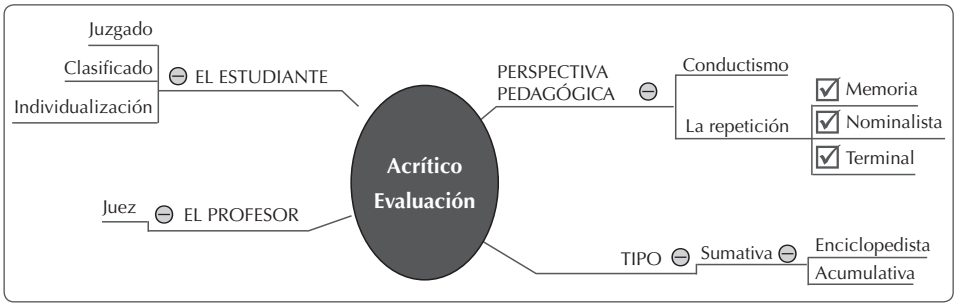
## Niveles de formulación para la evaluación

A continuación se describe la organización de los niveles de formulación para el componente evaluación asociada a la enseñanza del campo eléctrico.

### *El nivel de formulación acrítico (Evaluación)*

En este nivel la evaluación se comprende desde una perspectiva terminal y acumulativa. Se relaciona con el proceso de devolución de lo que le ha sido entregado o informado al alumno por parte del profesor, quien es la autoridad intelectual y poseedor de los criterios de valoración.

**Figura 32.** El nivel de formulación acrítico (evaluación)

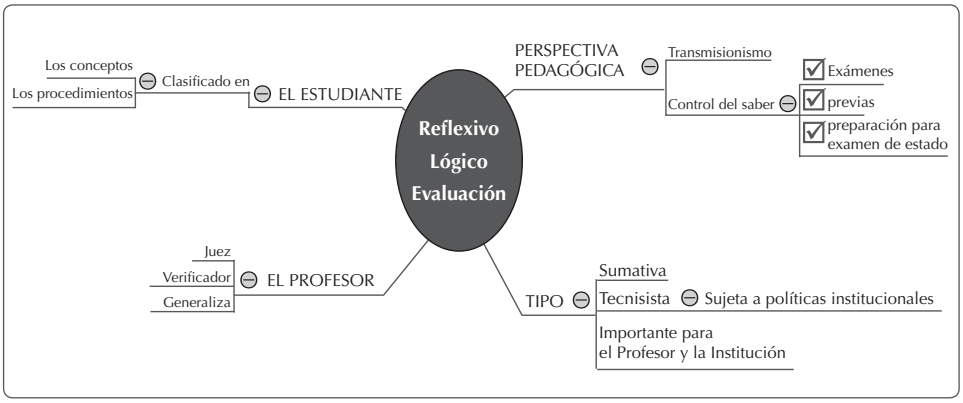


Por ello la evaluación prototipo está cargada de protocolos tradicionalmente reconocidos como los test, y la evaluación escrita con única respuesta ("previa", "examen"). Por medio de estos instrumentos se mide el aprendizaje de contenidos, ya sea por la escritura de definiciones en busca de la consistencia con el lenguaje utilizado por el profesor o los libros de texto, es decir, principalmente se pretende atender una evaluación nominalista centrada en la repetición. En este sentido, los estudiantes no participan de la evaluación, pues son juzgados por los resultados, situación que favorece valoraciones de orden individual que establece niveles o estratos entre los que saben y los que no saben física (ver figura 32).

*El nivel de formulación reflexivo lógico (Evaluación)*

En este nivel la evaluación se asume como un procedimiento obligatorio, y se concibe como mecanismo de control del saber. La diferencia principal con el nivel anterior radica en que el profesor aquí considera más elementos, tales como las participaciones orales y los trabajos de laboratorio. Sin embargo la perspectiva pedagógica es la misma, el transmisionismo que se verifica mediante el desarrollo de quizzes, previas, informes de laboratorio y exámenes. La participación del estudiante en procesos de autoevaluación es nula, se centra en examinar contenidos conceptuales y algunos procedimentales atados al seguimiento de instrucciones, en desarrollar guías de laboratorio preestablecidas y escribir los informes prototipo de laboratorio. Este nivel es más tecnicista, busca atender criterios previos como los objetivos de la unidad de electrostática, y quiere más bien exponer lo aprendido mediante la acumulación de las valoraciones hechas, provocando también generalizaciones sobre el rendimiento del grupo de estudiantes, pero estratificándolos en relación con sus resultados numéricos.

**Figura 33.** Nivel de formulación reflexivo lógico (evaluación)

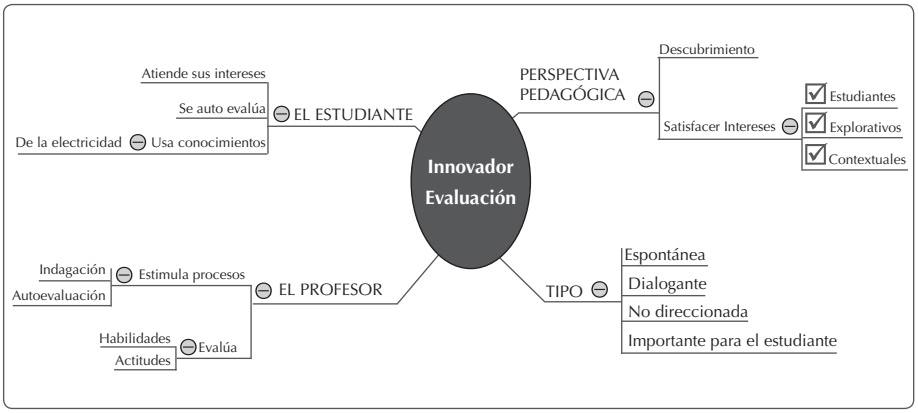


La valoración de los procedimientos generalmente atiende la idea de la aplicación de los conceptos, es decir, los laboratorios sirven para comprobar la teoría, la cual se ha enseñado previamente. La consistencia entre los temas vistos y los informes de laboratorio también se constituyen en materia de evaluación (ver figura 33).

*El nivel de formulación innovador (evaluación)*

En este nivel el profesor atiende una perspectiva pedagógica que favorece el descubrimiento por medio de la reflexión constante de los procesos que se desarrollan, sin embargo esto no se hace de manera directiva, por el contrario, existe un criterio más bien espontáneo para generar diálogos y no emitir juicios sobre el trabajo del estudiante. Lo que se busca aquí es que sea este quien reflexione, se autoevalúe y eventualmente pueda tomar decisiones de cambio, aunque estas no son obligatorias.

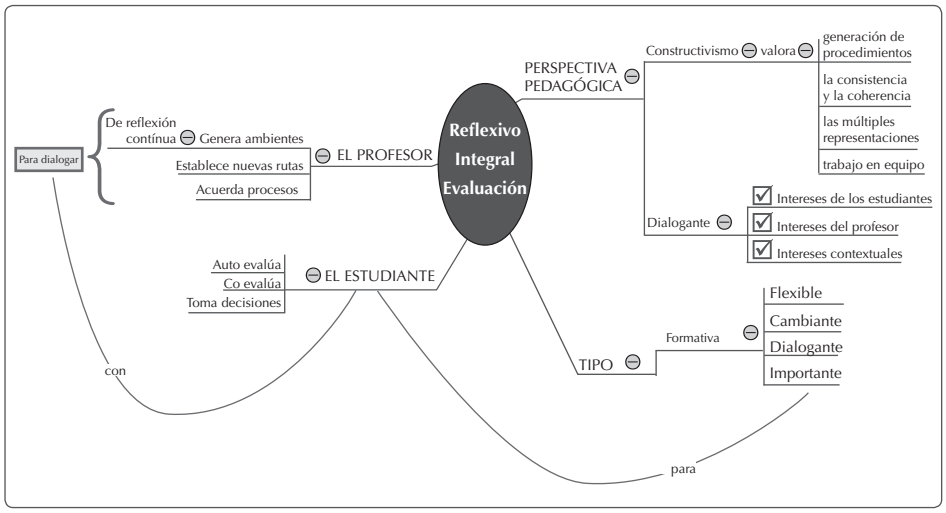
**Figura 34.** El nivel de formulación innovador (evaluación)




La evaluación en este nivel también se corresponde con la idea de satisfacer los interés de los estudiantes. En este sentido, tanto las preguntas como los diálogos con el profesor manifiestan características como el ánimo para seguir explorando, la valoración de lo que se hace y no necesariamente el juzgamiento de las acciones e ideas desde perspectivas de clasificación o segregación. La evaluación es un aspecto más de la perspectiva pedagógica y no es el centro de esta, por tanto el profesor favorece ambientes donde la evaluación no es el fin, ni el medio para comprender el fenómeno eléctrico (ver figura 34).

*El nivel de formulación reflexivo integrador (evaluación)*

**Figura 35.** El nivel de formulación reflexivo integrador (evaluación)




En este nivel (ver figura 35) la evaluación se asume como proceso desde un enfoque formativo. Así, el profesor procura ambientes de reflexión y revisión de las acciones y argumentos de sus estudiantes, en los que expone dialógicamente sus intereses y los de ellos por explicar el fenómeno eléctrico. En particular el docente valora y gestiona con sus estudiantes la generación de analogías y múltiples representaciones del campo eléctrico y establece criterios de consistencia y coherencia de los modelos usados por ellos en relación con las prácticas experimentales o procedimientos que se diseñen.

En este proceso el estudiante se autoevalúa y coevalúa lo que ha sido su recorrido de aprendizaje con su profesor y con los demás estudiantes, de manera que esto también le posibilite al docente y al grupo de trabajo trazar nuevas rutas; en tal sentido la evaluación formativa adquiere un carácter menos clasificatorio y más constructivo (ver tabla 12).

**Tabla 12.** CDC: Componente evaluación en la enseñanza del campo eléctrico

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Hacia una hipótesis de progresión** | | | | |
| | **Nivel I (no reflexivo)** | **Nivel II (lógica reflexiva)** | **Nivel III (innovación)** | **Nivel IV (reflexión integral)** |
| Tipo | Sumativa.<br>Prioridad por la evaluación de contenidos conceptuales, tales como carga eléctrica, campo eléctrico, ley de Coulomb, y potencial eléctrico basados principalmente en el desarrollo de habilidades de los estudiantes para etiquetar o aplicar las fórmulas matemáticas. | Sumativa-tecnicista.<br>Evaluación de contenidos conceptuales y procedimentales.<br>La evaluación es importante para el profesor y para la institución. | Espontánea<br>Se centra en la autoevaluación de los estudiantes en relación con su interés por indagar. | Formativa.<br>De carácter flexible atendiendo las reflexiones sobre procesos cognitivos y actitudinales. Proactiva, permite la toma de decisiones del profesor y del estudiante. |
| El estudiante | Es pasivo frente a la evaluación, es juzgado y clasificado, situación que favorece la individualización. | Se clasifica en conocimientos conceptuales y procedimentales. Se asignan actividades de recuperación para ser superadas. | Se autoevalúa, indaga, desarrolla búsquedas de información, contrasta con su profesor y con otros estudiantes, atiende sus intereses sobre la electricidad. | Se autoevalúa y además coevalúa con sus compañeros. En el diálogo con el profesor también puede tomar decisiones sobre los procesos. |
| El profesor | Juzga los aprendizajes.<br>Las soluciones de los problemas son únicas. | Verifica aprendizajes, juzga y sigue políticas institucionales.<br>Los informes de laboratorio deben ser escritos sobre la base de la teoría de la física. | Favorece la generación de preguntas y el desarrollo de procesos para su solución. No juzga basado en polaridades ni clasifica. Dialoga con el estudiante y no emite juicios de competitividad. | Toma decisiones dialogadas, no directivas, propone nuevas rutas a partir de la evaluación. Es un profesor que reflexiona sobre la práctica educativa. |
| Perspectiva pedagógica | Conductismo.<br>Las actividades de evaluación son principalmente individuales. Valora la repetición y la memoria. | Transmisionismo.<br>Solo hay una respuesta a un problema o procedimiento de laboratorio. | Descubrimiento espontáneo. El estudiante explora situaciones o ambientes asociados a la electricidad. Aquí puede estar interesado en asuntos relacionados con el campo eléctrico. | Constructivismo. Desde un enfoque integral la evaluación es conjunta profesor-estudiante. Tiene propósitos formativos y no de segregación o clasificación. |

## Análisis global de los niveles de formulación

### *Nivel acrítico*

La coherencia en este nivel se hace evidente en tanto el docente solo brinda contenidos teóricos teniendo como base la estructura de los libros de texto. En este sentido las actividades solo permiten desarrollar guías y problemas propuestos en ellos, y brindar de forma tradicional la teoría en el tablero. Asimismo, las ideas de los estudiantes solo se basan en las definiciones, formulas y conceptos correctos, que concuerden con la teoría ya establecida, de forma tal que al momento de evaluar son estas definiciones exactas las que se consideran válidas. Es decir, el proceso se lleva a cabo mediante la transmisión de teoría de forma tradicional por parte del docente a los estudiantes, estos la consignan y finalmente la reproducen en el momento de la evaluación. En este nivel los contenidos conceptuales adquieren el mayor protagonismo al igual que el profesor.

### *Nivel lógico reflexivo*

En este nivel se incluyen contenidos procedimentales dado que las actividades ahora incluyen laboratorios; sin embargo no se hace evidente su uso en la vida cotidiana, y se recalca en la aplicación que estos tienen en el área de la física pues los informes de laboratorio deben seguir una estructura y un protocolo impartido por el docente, usualmente se deben basar en la teoría, y no brindan herramientas para que el estudiante esté en capacidad de dar explicación de los fenómenos eléctricos de una manera auténtica y personal. En este nivel se supone que el estudiante debe tener ideas previas iguales a las de los libros de texto, pero para desarrollar los procedimientos asociados a los laboratorios, por ejemplo, no se da espacio para que elaboren hipótesis o den respuesta a cuestionamientos que pueden surgir en el laboratorio, ya que se considera que sus ideas para explicar un fenómeno no son las correctas. Así, la evaluación es correcta si coincide con la teoría y si el informe de laboratorio está hecho de acuerdo con la estructura impartida. En este nivel ahora se incluye, además de lo conceptual, lo procedimental.

### *Nivel innovador*

En este nivel todos los componentes se centran teniendo en cuenta las actitudes de los estudiantes, así, la selección de contenidos no se hace siguiendo el orden de los textos, sino que el docente valora todas las ideas de sus alumnos y no las considera inválidas; a través de cuestionamientos logra que ellos den respuesta a fenómenos; valora la creatividad y el trabajo en equipo durante el desarrollo de las actividades; busca que estas promuevan en los estudiantes el desarrollo de sus propios procesos de aprendizaje por lo que los contenidos ahora son base para solucionar problemas de lápiz y papel, y en la evaluación tiene en cuenta las argumentaciones, eso significa

que también importa la habilidad para razonar y dar explicación a fenómenos desde un punto de vista físico, ya que no basta con dar el resultado correcto. Aquí se incluye lo actitudinal en los cuatro componentes del CDC.

### *Nivel reflexivo integrador*

La continuidad en este nivel se hace evidente en la autonomía que se busca en los cuatro componentes. Los contenidos se seleccionan según la forma como brinden a los estudiantes argumentos para dar solución a problemas, de tal suerte que las actividades se basan en experimentos que surgen de la necesidad de explicar, y no como una actividad previa ya diseñada, dando paso al aprendizaje autónomo. De esta manera se hace absolutamente necesario que la base para el desarrollo de la clase sean las ideas de los estudiantes, las cuales el docente usa para diseñar estrategias de enseñanza, y a través de la discusión en clase y de cuestionamientos propuestos, los alumnos solucionan y argumentan desde un punto de vista físico los resultados obtenidos, por lo que es fundamental darle importancia a la autoevaluación, al proceso que desarrolla el estudiante y a la capacidad que tiene para argumentar sus resultados. En este nivel también están presentes en los cuatro componentes la integración conceptual, procedimental y actitudinal.

## El problema de investigación

Grossman (1989, como se cita en Bolívar, 1993, p. 114) pregunta: "Si el conocimiento didáctico del contenido es un importante componente del conocimiento base de la enseñanza, la formación del profesorado ¿Transmite este área del conocimiento profesional?" (p. 25). Desde esta mirada, la importancia de la investigación del CDC en la formación de profesores de Física permite cuestionar hasta dónde los conocimientos de la física y de la pedagogía por sí solos son suficientes para la enseñanza. Igualmente contribuye a la discusión sobre los procesos de formación de profesores de Física, a través de los cuales es necesario desarrollar en ellos una conciencia de manera que analicen el proceso que "… deben emprender para hacer que el conocimiento del contenido sea asequible para los alumnos [...] para que comiencen a redefinir su conocimiento de la materia y, por tanto, a construir su conocimiento didáctico del contenido" (Gudmundsdottir y Shulman, 1990, p. 11).

Un aclaración necesaria en este punto consiste en destacar que el CDC deviene de todo el proceso de formación del profesor, lo que sucede es que solo hasta cuando se cuestiona su existencia, este deja de ser un conocimiento tácito y pasa ser explícito. En el nivel tácito el CDC del profesor en formación proviene de los enfoques de enseñanza que le sean inherentes al currículo que vivencia, y en el nivel explícito el CDC adquiere una connotación de conciencia que puede ser aprovechada por quienes lideran los cursos de didácticas específicas.

Es aquí cuando la formación con el objetivo de enseñar se hace necesaria y precisamente la que debe investigarse mucho más, siendo de relevancia máxima si se observa mediante la reflexión argumentada que posiciona el rol de los cursos de Didáctica de la Física en los proyectos de formación de profesores; así como en la discusión sobre el origen del conocimiento didáctico del profesor de Física, situación que problematiza también la investigación del profesor principiante. Al respecto Bolívar (2005) comenta:

> En la tarea de todo profesor principiante de repensar y transformar su materia, desde una perspectiva didáctica, en formas de conocimiento que sean apropiadas para los alumnos y las tareas docentes (Grossman *et al.,* 1989), los cursos dedicados a la didáctica específica, enfocados en posibilitar una representación flexible del contenido, pueden tener importantes efectos en contribuir a forjar un Conocimiento Didáctico del Contenido, que será completado con las experiencias prácticas (p. 15).

En este contexto la pregunta de investigación de este trabajo de tesis es: ¿Qué caracteriza el CDC del profesor de Física en formación inicial en el proceso de enseñanza del campo eléctrico en la práctica docente?

Ahora bien, teniendo en cuenta la preocupación por la planeación de la clase y la reflexión a la luz de los siguientes subproblemas: a) ¿Qué caracteriza los componentes del conocimiento didáctico del contenido del profesor de Física en formación, en la planeación de la enseñanza del campo eléctrico? b) ¿Cuáles son las posibles relaciones entre las características del CDC al desarrollar la propuesta de enseñanza de la física con estudiantes de bachillerato? c) ¿Qué relaciones entre sus componentes es posible identificar desde una perspectiva integradora del CDC?

Dado que el CDC está estrechamente relacionado con los contenidos específicos, se ha escogido como referente temático la electricidad y en particular el campo eléctrico considerando, en primer lugar, que este tema ha sido estudiado por los futuros profesores con quienes se va a llevar a cabo la investigación, tanto en la línea de formación disciplinar de la física con el curso titulado: *Electricidad y Magnetismo*, como en la línea de formación disciplinar de la didáctica en el curso titulado *Didáctica de la Física II*. En segundo lugar, la enseñanza de la electricidad, y en particular del campo eléctrico, tampoco ha sido ampliamente investigada en nuestro contexto desde la perspectiva del conocimiento profesional del profesor de Física, más bien ha sido abordada en las dificultades de aprendizaje de los estudiantes de bachillerato asociadas principalmente a los niveles de complejidad simbólica y matemática, así como a la poca claridad en la diferenciación de la perspectiva de acción a distancia y la del papel del medio, es decir, en la conceptualización del concepto de campo como tal (Furió y Guisasola, 1998, 1999, 2001). En estas interpretaciones de la problemática se plantean posibles caminos para la enseñanza, dando prioridad a investigar sobre las ideas de los alumnos, pero no se ha considerado la posibilidad de investigar el conocimiento didáctico del profesor de Física

como alternativa que contribuya al cuestionamiento y la reflexión sobre la enseñanza del campo eléctrico, constituyéndose en un terreno fértil para investigar.

En tercer lugar, la idea de campo eléctrico en física resulta ser trascendental en los procesos de explicación e interpretación de fenómenos, especialmente aquellos que pretenden mostrar el fenómeno eléctrico, cuestionando lo que desde otras perspectivas se consideraba como las "interacciones a distancia e instantáneas entre los cuerpos de la naturaleza", y posicionando la discusión sobre el *papel del medio* como generador de explicaciones tal como fue postulado por Maxwell (1881) al definir el campo eléctrico destacando que *"… Finally, when we contemplate the region occupied by the medium as being a part of space in which electric phenomena may be observed, we shall call this region the Electric Field*" (p. 36).

Los trabajos de investigación sobre la enseñanza del campo eléctrico revelan preocupaciones sobre su comprensión en los estudiantes; al respecto Martín y Solbes (2001) argumentan que en la mayoría de los textos no se hace diferencia entre campos y fuerzas a distancia, la razón de ello es que el campo es un medio de calcular la fuerza, por tanto, no se llega a adquirir un significado físico, en el cual se toma una acción local entre las partículas convirtiéndola en una acción local entre la partícula y el campo existente en dicho punto. De igual forma, Furió y Guisasola (1998) han encontrado que "los estudiantes (incluidos los universitarios) no utilizan de forma significativa el concepto de *campo eléctrico* en un contexto electrostático" (p. 142), donde más bien media una explicación asociada a la ley de Coulomb. Esta situación plantea preguntas sobre la enseñanza de este concepto y por ende sobre el CDC de los profesores de Física.

La investigación en este punto contribuye a la generación de estudios concretos sobre el conocimiento didáctico del profesor de Física en Colombia y a escala internacional, en el desarrollo de la línea de investigación en conocimiento profesional de manera que se trascienda de la sola indagación por el conocimiento físico o pedagógico general de los futuros profesores de física, a niveles mayores de profundización por la caracterización del CDC en términos inclusive de orden pragmático, mucho más reflexivos y conscientes sobre su quehacer y su propio conocimiento. Esto puede comenzar a atender lo que Abell (2008) ha planteado como "*Challenges for CDC Researchers"* al formular la pregunta por la relación entre Pedagogical Content Knowledge (CDC) —en términos de calidad y de cantidad— con la práctica profesional del profesor, en la que algunos otros investigadores ya han incursionado en la revisión de la coherencia entre planeación y práctica (Hollon, Roth y Anderson, 1991, citado por Porlán y Rivero, 1998).

En líneas generales la investigación se fundamentará en los siguientes procesos:

a. *El proceso de la planeación*. En el que se pregunta: ¿Qué caracteriza los componentes del conocimiento didáctico del contenido del profesor de Física en formación, en la planeación de la enseñanza del campo eléctrico? Para el caso

de los profesores de Física en formación inicial de la Universidad Distrital, no existe un formato único de planeación y, además, este proceso para algunos docentes que dirigen la práctica no resulta importante.

b. *El desarrollo de las clases de física en la práctica docente*. ¿Cuáles son las posibles relaciones entre las características del CDC al desarrollar la propuesta de enseñanza de la física a estudiantes de bachillerato?

c. *El establecimiento de una interpretación de orden sintético.*¿Qué relaciones entre sus componentes es posible identificar desde una perspectiva integradora del CDC?

# Referentes metodológicos

## Contexto de la investigación

La investigación se desarrolla 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). En su plan de estudios, los futuros profesores asisten a cursos en tres líneas fundamentales: físico-matemática, pedagógica-didáctica y complementaria. La segunda de estas líneas del plan de estudios contempla una fundamentación de corte pedagógico general con cursos de sicología y epistemología hasta el sexto semestre, para luego entrar a desarrollar los cursos de Didáctica de la Física I, Didáctica de la Física II y Didáctica de la Física III. A la altura del noveno semestre los estudiantes toman el curso de Práctica Docente, con el nombre de Práctica Integral, en el cual reflexionan, planean y desarrollan propuestas de enseñanza de la física (esta inmersión en la práctica se desarrolla de forma paralela con 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, además de la autorización del colegio en donde se harían los registros de video. En este trabajo se contó con la colaboración del profesor del curso Didáctica de la Física III, quien sugirió al Colegio Técnico Central y que estableció el contacto con el profesor de Física, tutor de esta institución que estaba a cargo del curso de Física en grado 11. 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. La selección se hizo mediante convocatoria abierta a los participantes del curso de Didáctica de la Física III, de los cuales uno se acercó voluntariamente y manifestó su voluntad de participar en la investigación. Una vez se dialogó con el estudiante se procedió a la firma del protocolo de consentimiento y se comenzó con el proceso que posteriormente se describe.

El contexto de esta investigación también se enmarca en la didáctica del campo eléctrico, fundamentalmente en atención a un interés personal del investigador como docente de Física y como formador de profesores de Física. El campo eléctrico se enseña en los cursos de formación de profesores y en bachillerato y, por lo tanto, no es ajeno a la explicación del mundo que en la física se ha construido. Este concepto deviene históricamente de perspectivas que involucran el papel del medio entre dos cargas eléctricas y posiciona la discusión en el fenómeno de la transmisión de los efectos por este medio, dejando a un lado la perspectiva newtoniana pura en la cual los efectos sobre los cuerpos se dan de manera instantánea, simultánea y a distancia. Así, el campo eléctrico resulta también un concepto organizador de las explicaciones que se han dado sobre los fenómenos eléctricos y sus derivaciones tecnológicas que hoy día nos rodean, y con las cuales interactúan los estudiantes.

## Daniel[1]: 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 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. El caso contrario es 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 decide 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 ante 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 docente "no es solo soplar y hacer botellas, un profesor es tener dedicación y tiene que tener estudio" [10-ENT]. Con ello reconoce la importancia de lo que llama "… el trascurso de su carrera y de profesión".

1 Nombre cambiado de acuerdo con protocolo de derecho a la individualidad del estudiante.

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 como la "pedagogía pues […] no servía" [12-ENT]. En cuanto a la didáctica, supone 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, Daniel considera que los cursos previos a la práctica integral son de teoría de la pedagogía y cree 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.

## La investigación cualitativa

El énfasis de la investigación cualitativa se encuentra en procurar "[…] dar sentido o interpretar los fenómenos en los términos del significado que las personas les otorgan […]" (Vasilachis, 2006, p. 2). Esto quiere decir que en este tipo de investigaciones la interpretación tiene un rol importante y requiere una fundamentación a partir de categorías o marcos generales. Dado que los trabajos de Strauss y Corbin (1990, p. 17) destacaron la investigación cualitativa en relación con el estudio no solo del funcionamiento organizacional sino de la "[…] vida de las personas, de historias, de comportamientos […]", conviene destacar su carácter hermenéutico propio de los métodos investigativos que buscarían mostrarlo. En particular en esta tesis se asumirá la investigación cualitativa basada en la descripción de experiencias y situaciones de enseñanza de la física por parte del profesor practicante, de manera que será empleada con el fin de caracterizar su CDC procurando "[…] comprender los procesos por los cuales los sucesos y acciones tienen lugar, y desarrollar explicaciones causales válidas analizando cómo determinados sucesos influyen sobre otros […] " Maxwell (1996, p. 17-20).

Las características más relevantes del enfoque cualitativo son las siguientes: "El investigador plantea un problema, pero no sigue un proceso claramente definido, utiliza técnicas para recolectar datos como la observación no estructurada, entrevistas abiertas, revisión de documentos, discusión en grupo, evaluación de experiencias personales, registros de historias de vida […]" (Hernández, Fernández y Baptista, 2006, pp. 8-9). Dado que el principal objeto de la indagación está asociado con una interpretación del conocimiento didáctico de contenido del profesor de Física en formación inicial, se asume aquí la perspectiva de investigación interpretativa como "todo el conjunto de enfoques de la investigación observacional participativa" (Erickson, 1997, p. 196). Asimismo, este trabajo se identifica con el enfoque de *estudio intrínseco de caso* (Stake ,1998), fundamentado en el interés del investigador por alcanzar la comprensión del caso en sí mismo. Ahora bien, para el caso que nos ocupa se pretende presentar un informe de corte interpretativo sobre las características del CDC del profesor practicante de Física. Esto permitirá desarrollar el conjunto

de análisis e interpretaciones de los significados que caracterizan los componentes del CDC que destaca y privilegia el profesor, tanto en la planeación de la enseñanza como en las clases.

Por tanto, en el sentido de Stake, el presente estudio de caso intrínseco se constituye a partir del interés del investigador sobre la enseñanza del campo eléctrico de Daniel como profesor de Física en formación inicial, considerando que Daniel es estudiante del proyecto curricular de Licenciatura en Física; programa en el que también trabaja el investigador. De esta manera Daniel no es él en sí mismo en el caso, sino que forma parte como sujeto protagonista de este en cuanto desarrolla la enseñanza del campo eléctrico en el contexto de su práctica docente en un colegio de bachillerato de la ciudad de Bogotá. Así, el caso lo compone, entonces, la comprensión de una caracterización del CDC en relación con la enseñanza del campo eléctrico a partir del estudio de tres facetas principales: la planeación de la enseñanza, la enseñanza interactiva del campo eléctrico y la reflexión sobre la enseñanza impartida, las cuales integran el problema de investigación formulado.

Otro aspecto relacionado con la elección de este enfoque de estudio de caso intrínseco se fundamenta en el reconocimiento del interés del investigador por indagar la didáctica de la electricidad, como resultado de los estudios adelantados en la tesis de maestría sobre la enseñanza de la física y en la que se abordaron las fundamentaciones epistemológicas, con implicaciones didácticas, de conceptos como átomo, ión, campo eléctrico, campo magnético y radiación cósmica. Esta investigación doctoral, en este sentido da continuidad al interés del investigador al indagar más concretamente el CDC del profesor de Física en formación en lo referente al campo eléctrico.

Así, el estudio de caso desde esta perspectiva, forma parte de los desarrollos que analizan el discurso del profesor de Física en contextos específicos, sin pretensiones de generalización, dado que se coincide con Lemke (2013) en el sentido de concebir la importancia del estudio de caso como referente investigativo complementario a los estudios con intenciones de generalización. En efecto, Lemke llama la atención sobre los análisis del discurso en estudios de caso concretos, al afirmar que estos también se validan por el interés de las comunidades humanas y culturales por reconocer qué es aquello propio de ellos en lugar de indagar lo que todos tienen en común. El estudio de caso intrínseco que le es inherente a este trabajo de tesis coincide con el propósito de los investigadores en didáctica de la física en el interés por reconocer las características propias y diferenciadoras del CDC en relación con la enseñanza del campo eléctrico para el profesor de física novato en el contexto que le es inherente.

En este sentido, el presente trabajo considerará 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. Esto, considerando un diseño metodológico tipo estudio de caso de un profesor de Física (Daniel), quien se encuentra en formación inicial y en la práctica docente enseña el campo eléctrico en una clase de grado 11. La perspectiva metodológica asumida es por lo tanto de orden comprensivo/interpretativo (Cohen, Manion y Morrison, 2008).

## El enfoque interpretativo

Los enfoques interpretativos buscan comprender las realidades en la vida social del sujeto, entendiendo que "… todo conocimiento es contextual y parcial; y otros esquemas conceptuales y perspectivas son siempre posibles" (Altheide y Jhonson, en: Denzin, y Lincoln, 2011, p. 581). En este sentido, "la tarea de la investigación interpretativa radica en descubrir los modos específicos en los que las formas locales y extralocales de organización social y de cultura se relacionan con las actividades de las personas específicas al efectuar opciones y realizar juntas una acción social" (Wittrock, 1997, p. 221), por lo tanto, para el caso de este trabajo interesan los procesos que se desarrollan en la planeación y las sesiones de clase interactiva del profesor practicante, como espacios en donde se constituyen ambientes particulares que permiten crear significados del CDC del docente.

Como lo plantean Arnal y Latorre (1992, p. 40) la finalidad de la investigación interpretativa en educación consiste en "comprender e interpretar la realidad, los significados de las personas, percepciones, intenciones y acciones", por lo que esta investigación no asume la necesidad de determinar factores universales de carácter abstracto sobre el CDC del profesor, sino que más bien se preocupa por establecer factores "universales concretos" (Wittrock, 1997, p. 222) en cuanto se analiza un caso y se compara con otros investigados, en particular con relación a los cuatro componentes del CDC, los cuales permitieron la construcción de la hipótesis de progresión del presente trabajo.

## Perspectiva "no participativa" de la observación

En esta tesis el trabajo de campo implicó el desarrollo de grabaciones de audio y video de sesiones de clase del profesor practicante. El objetivo principal de esta tarea consistió en levantar el registro de la enseñanza del campo eléctrico por parte del profesor practicante a un grupo de estudiantes de grado 11 de un colegio de bachillerato de Bogotá. El grupo contaba con cuarenta estudiantes en edad promedio de 16 años, mayoritariamente hombres. En este contexto las grabaciones implicaron un proceso de intervención en la dinámica cotidiana del aula, es decir, en la vivencia de la clase, aspecto que fue orientado por el investigador en atención a una perspectiva de observación de mínima alteración, que se conoce como observación no participante.

Al respecto Muñoz (1998) define la observación no participante como "… aquella en la que el observador evita participar en el fenómeno a fin de no impactar su conducta, características y desenvolvimiento del fenómeno en su medio ambiente" (p. 216). Cabe aclarar que como observador en este proceso evidentemente se interviene en las actuaciones normales de los sujetos, debido a ello se visitaron dos sesiones previas en las que se puso la cámara y se acompañó la clase para ir acostumbrando a los estudiantes y al profesor a la presencia del investigador y el artefacto.

Sin embargo es conveniente aclarar que en toda investigación, el proceso de observación no tiene un carácter objetivo ni estrictamente no participante, por lo tanto la observación de las clases del profesor, por parte del investigador, se desarrolló considerando dos fases. En la primera se llevó una cámara de video y se ubicó en el salón orientada a la exposición del profesor, procurando no hacer registros de la interacción de los estudiantes, así como irlos habituando a la presencia de la cámara y del investigador en el ambiente del aula. Esta situación se desarrolló sin la presencia del profesor titular del colegio donde se hizo la práctica. En una segunda fase se levantaron los registros de las sesiones de clase que trataron el tema del campo eléctrico. Dado que el objetivo de la investigación tiene que ver con la caracterización de CDC del profesor practicante se videograbaron cinco sesiones en el marco de su práctica docente, que corresponden al cincuenta por ciento de las sesiones a su cargo durante los cuatro meses de su práctica, y con cien por ciento de las sesiones en las que abordó la enseñanza de la electricidad.

La forma como se levantaron estos registros de las clases tuvo en cuenta el planteamiento de González (1994) al explicar la observación no participante como aquella situación en la cual

> [...] el investigador… observa situaciones de interés sin intervenir directamente en las interacciones del grupo (presencia pasiva en el aula, asistente no participativo en una conversación, etc.) el observador no participante pretende interferir lo menos posible, de modo que su presencia no condicione el fenómeno que se está estudiando (p. 210).

Otra característica de este tipo de observación no participante radica en que el investigador no pertenecía a la comunidad educativa del colegio donde se desarrolló la práctica docente, y tampoco era profesor titular del espacio académico de práctica docente de la universidad a la cual pertenece el practicante. Estos dos factores, aunados al hecho del que el practicante no había participado como estudiante de algunos de los cursos que el investigador ha dictado en la universidad, le imprimen a la observación no participante un carácter de "observación externa" en el sentido de su no pertenencia "al grupo en el cual se analiza la situación" (Mora, 2007, p. 289).

## Las etapas de la investigación y obtención de los datos

Los datos se obtuvieron en el año 2010 en el contexto del curso denominado "Práctica Integral" del programa de Licenciatura en Física de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Este curso es dirigido por un profesor de la universidad y un profesor de la institución escolar donde se desarrolla la práctica docente durante un semestre lectivo. En ese proceso inicialmente el estudiante asiste a las clases con el profesor titular de Física del colegio para luego llevar a cabo tareas propias de la profesión docente: preparar clase, dictar algunos temas asignados, corregir tareas, asistir a reuniones, etc. Los datos aquí recogidos se levantaron en esta etapa a partir de las siguientes fuentes: una encuesta, una entrevista previa a la sesión de clase, el documento de planeación del estudiante, las videograbaciones de las clases y la entrevista de estimulación del recuerdo. En general el trabajo se desarrolló en las fases que se describen a continuación.

### Fase declarativa

Como trabajo previo a la fase declarativa se procedió a la revisión de antecedentes sobre el CDC en la formación de profesores de Ciencias, y en particular de docentes de Física. El producto inicial de este trabajo se encuentra publicado en Reyes (2010) el cual, aunado con la ampliación de revisión de la literatura investigativa y del análisis del contenido de libros de texto de física, así como con el desarrollo de entrevista a expertos en la enseñanza de la física y formación de profesores, sirvió como fundamento para la generación de la hipótesis de progresión sobre la didáctica del campo eléctrico, respecto de los cuatro componentes definidos.

La indagación declarativa se corresponde con el proceso de recolección de información documental acerca de la planeación de la enseñanza del concepto del campo eléctrico por parte del profesor practicante, previa solicitud de consentimiento para participar en la investigación. Para esto, se le solicitó una copia de su documento de planeación, sin embargo, dado que la información brindada consistió en una hoja de planeación en concordancia con el formato asignado por su tutor de la universidad, se decidió levantar información adicional mediante dos instrumentos: una encuesta y una entrevista. Estos fueron diseñados a partir de los componentes del CDC para el caso de la enseñanza del campo eléctrico, y en su proceso de elaboración se tuvieron en cuenta los criterios de Etkina (2010) acerca de los componentes del CDC en la formación de profesores de Física. Para efectos de análisis la entrevista se transcribió (recogiendo el máximo de información del contexto: silencios, risas, etc.) y la encuesta se copió íntegramente.

#### *Texto básico de la encuesta*

La encuesta fue construida en colaboración con la profesora Eugenia Etkina de la Universidad de Rutgers (Estados Unidos). Se hizo una aplicación piloto en la que se determinó aumentar el listado de temas de la primera pregunta, así como enfatizar

en un caso de enseñanza del concepto de campo eléctrico y preguntar al profesor practicante sus concepciones sobre lo que piensan los estudiantes y lo que él como docente analiza acerca de tales ideas. Una vez se hicieron los ajustes se procedió a organizar la versión definitiva (ver tabla 13).

**Tabla 13.** Encuesta definitiva

**1. ¿Cuáles son las ideas científicas que están en el centro del tema del campo eléctrico? Organice las ideas que se listan a continuación en orden de importancia donde 1 significa menor importancia y 5 mayor importancia**

| | |
|---|---|
| Masa | Trabajo |
| Espacio | Líneas de campo |
| E: Vector campo eléctrico | Fricción |
| Fuerza | Aceleración |
| Velocidad de la luz | Movimiento |
| Energía | Campo |
| Velocidad | Calor |
| Carga | Conservación |
| Posición | Ión |
| Vector | Átomo |
| Momentum | Electrón |
| Ley de Coulomb | Onda |
| Leyes de Newton | Superposición |
| Fuerza eléctrica | Gravedad |
| Energía potencial | Potencial eléctrico |

En el primer punto el encuestado debe asignar el orden de importancia que tienen algunas ideas de la física en relación con el tema del campo eléctrico. Aquí se espera mostrar la relación que el profesor establece entre los conocimientos de la física y el campo eléctrico, y en especial determinar a cuáles les da importancia y cómo esto puede eventualmente tener alguna relación con la selección de contenidos en la fase de planeación.

**2. Muchos libros de texto mencionan la comparación entre campo eléctrico y campo gravitacional. ¿Qué piensa usted acerca de esta propuesta didáctica? Explique su respuesta**

Esta pregunta sobre la analogía utilizada por los libros de texto entre el campo eléctrico y el campo gravitacional, busca determinar si el encuestado valida o no esta analogía y basado en qué presupuestos didácticos lo hace. Aquí uno de los supuestos es que la analogía se constituye en un recurso descriptivo del profesor que puede o no promover las múltiples representaciones del campo eléctrico.

**3. Pedro dice: "Las líneas de fuerza muestran la trayectoria que una carga de prueba positiva seguirá cuando es colocada en un campo eléctrico". ¿Está de acuerdo o en desacuerdo? ¿Qué puede hacer en clase después de oír la explicación de Pedro?**

En el tercer punto se le presenta una viñeta al encuestado de un posible caso de interpretación de las líneas de fuerza por parte de un estudiante. La situación le exige al encuestado tomar posición sobre la afirmación de la viñeta (aquí se indaga el conocimiento físico) y sobre la orientación posible que le daría al estudiante al afirmar lo allí expuesto. En este último sentido se pregunta por el conocimiento del encuestado sobre las ideas de los estudiantes, así como por las actividades de enseñanza que usaría.

**4. Algunos estudiantes confunden las líneas de campo con el vector de campo eléctrico. ¿Cómo podría usted ayudarlos a entender la diferencia?**

El cuarto punto pide al encuestado dar alternativas para las frecuentes confusiones que presentan los estudiantes entre líneas de fuerza y vector campo eléctrico. Se pretende indagar tanto por el conocimiento de las ideas de los estudiantes como por el conocimiento de las actividades de enseñanza específicas que propone para atender este caso.

**5. A continuación usted encuentra dos preguntas para evaluar la comprensión de los estudiantes sobre el campo eléctrico:**

a. Responda ambas preguntas

b. Explique cuáles de estas preguntas evalúan la comprensión de los estudiantes en términos conceptuales, cuantitativos o de habilidades científicas.

c. Si usted fuera el profesor, ¿qué modificaciones le haría a cada pregunta para profundizar la evaluación de los aspectos listados en el punto anterior (b)?

---

I. La figura muestra una canastilla de metal cargada negativamente. ¿Qué pasaría si usted coloca un péndulo cuya esfera está cargada positivamente dentro de la canastilla?



II. Un objeto con carga Q se encuentra a *d* metros lejos de un objeto con carga 10Q.

a. ¿Cuál es la fuerza que Q ejerce sobre 10Q?

a. Imagine ahora que la magnitud de la carga 10Q se reduce instantáneamente a la mitad, ¿qué pasará con la fuerza que Q ejerce sobre 5Q? Justifique sus repuestas.

El quinto punto presenta dos situaciones posibles de evaluación de los estudiantes sobre el tema campo eléctrico y se solicita al encuestado responder las dos preguntas como si fuera estudiante, explicar cuáles de estas preguntas evalúan la comprensión de los estudiantes en términos conceptuales, cuantitativos o de habilidades científicas y, por último, se le pide indicar si (como profesor) le haría algunas modificaciones a las preguntas para profundizar los aspectos de la evaluación anteriormente señalados. Se pretende indagar por el conocimiento sobre la evaluación de la comprensión del tema campo eléctrico. La primera de las situaciones se recoge de la investigación de Furió y Guisasola (2001).

**Nota:** Encuesta diseñada para recabar información sobre el CDC en la fase de planeación. Un piloto previo de esta encuesta se llevó a cabo con estudiantes de la Universidad de Rutgers (Estados Unidos).

## *Texto básico de la entrevista*

La entrevista semiestructurada [ENT] (ver apéndice B) sobre los componentes del CDC retoma los presupuestos de Etkina (2010) y la experiencia de mi acompañamiento a esta experta en su curso de formación de profesores de Física de la Universidad de Rutgers (Estados Unidos) en el marco de mi pasantía. La encuesta se fundamenta en categorías (componentes) del CDC, y su relación con la enseñanza de la física (ver tabla 14). La diferencia entre las preguntas principales y las auxiliares, consiste básicamente en una estrategia de recursividad al momento de llevar a cabo la entrevista, así por ejemplo si al hacer cada una de las preguntas principales el investigador considera que aún quedan aspectos por indagar, entonces las preguntas auxiliares brindan esta posibilidad y permiten profundizar y al mismo tiempo concretar la pregunta principal.

**Tabla 14.** Formato de entrevista

| |
|---|
| **1. ¿Considera que las ideas de los estudiantes afectan la planeación de la enseñanza?**<br>*Preguntas auxiliares:*<br>En el caso de la idea de campo eléctrico, ¿cómo es esta situación?<br>• ¿Los estudiantes tiene unas ideas previas?<br>• ¿Cuál es el propósito de la solución de problemas en clase de Física?<br>• ¿Y los de los libros de texto?<br>• ¿Cómo motivar a los estudiantes a aprender el tema?<br>• Para el caso de la enseñanza de la electricidad, ¿cuáles son los conocimientos que usted enfatizaría y por qué?<br>----------<br>**Componentes CDC**: orientaciones hacia la enseñanza de las ciencias (ideas de los estudiantes, actividades en clase).<br>**Relación con la enseñanza de la física**: "Creencias acerca del rol del conocimiento previo de los estudiantes en sus aprendizajes, el propósito de la solución de problemas, los roles del experimento en el aula de clase, las motivaciones de los estudiantes en la clase, etc." (Etkina, 2010, p. 020110-3). Se indaga por el conocimiento de las ideas de los estudiantes, el propósito de la solución de problemas en la enseñanza, el uso de los libros de texto, el papel de la experimentación y la motivación. |
| **2. ¿Qué ideas se necesitan para que los estudiantes comprendan el concepto de campo eléctrico?**<br>*Preguntas auxiliares:*<br>• ¿Por qué es importante enseñar el tema del campo eléctrico en el bachillerato?<br>• ¿Qué relación tiene el tema del campo eléctrico con los otros que se enseñan de física en el bachillerato?<br>**Componentes CDC**: conocimiento del currículo (contenidos para la enseñanza).<br>**Relación con la enseñanza de la física**: "El conocimiento de la secuencia de los temas que permita a los estudiantes construir una comprensión de una nuevo concepto o habilidad basado en lo que ella o él ya conoce" (Etkina, 2010, p. 020110-3).<br>Indaga la importancia que le asigna el profesor al tema del campo eléctrico en el bachillerato, y la relación que tiene este con los otros temas de la física que se enseñan en este nivel educativo. |
| **3. ¿Utilizaría la analogía para enseñar el campo eléctrico?**<br>*Preguntas auxiliares:*<br>• ¿Qué dificultades pueden tener los estudiantes en cuanto al lenguaje?<br>• ¿Qué elementos de la historia de la física y de su epistemología tiene usted en cuenta en la enseñanza del campo eléctrico?<br>**Componentes CDC**: conocimiento de las dificultades de los estudiantes tanto de comprensión como con conceptos claves y prácticos de las ciencias (ideas de los estudiantes, contenidos).<br>**Relación con la enseñanza de la física**: conocimiento de las ideas previas de los estudiantes en materia curricular que ellos pueden utilizar cuando construyen un nuevo concepto. Conocimiento de las dificultades que puedan tener al interpretar el lenguaje de la física frente a la diferencia con el lenguaje de la vida cotidiana. Se indaga por el conocimiento que tiene el profesor sobre las posibles ideas previas que tienen los estudiantes del campo eléctrico, el uso de analogías, las dificultades que le asigna a la comprensión del tema y el papel del lenguaje en la comprensión de los estudiantes. |

| |
|---|
| **4. ¿Qué estrategias de enseñanza considera las más apropiadas para trabajar con los estudiantes el campo eléctrico?**<br>*Preguntas auxiliares:*<br>• ¿Tiene en cuenta algún(os) libro(s) para planear y dictar la clase?<br>• ¿Cuál es el papel de la experimentación en el aula de clase, al enseñar electricidad y en particular el campo eléctrico?<br>**Componentes CDC**: conocimiento de las estrategias de enseñanza adecuada para estructurar el aprendizaje de los estudiantes sobre los conceptos claves y las prácticas de las ciencias (actividades).<br>**Relación con la enseñanza de la física**: conocimiento de múltiples métodos o secuencias específicas de actividades que hagan más exitosos el aprendizaje de los estudiantes, y la habilidad para escoger la estrategia más productiva o la modificación de esta para un grupo de estudiantes o un estudiante en particular. Aquí se indaga por las estrategias específicas que el profesor considera adecuadas al tema campo eléctrico. |
| 5. ¿Cómo evaluaría los aprendizajes de los estudiantes?<br>*Pregunta auxiliar:*<br>• ¿Cuándo se trabajan ecuaciones y qué ecuaciones va a trabajar en este caso?<br>**Componentes CDC**: conocimiento sobre cómo evaluar, y acerca del desarrollo de estrategias específicas para evaluar las comprensiones de los estudiantes de los conceptos claves y las prácticas de las ciencias (evaluación).<br>**Relación con la enseñanza de la física:** Conocimiento sobre las formas de evaluación de las comprensiones de los conceptos en los estudiantes, así como de la solución de problemas y las habilidades científicas a escala general; conocimiento sobre cómo ayudar a los estudiantes en relación con la autoevaluación de su trabajo y el compromiso con una reflexión significativa de estos. Se indaga por las formas de evaluación de los aprendizajes de sus estudiantes y el papel de las ecuaciones en el aprendizaje del tema campo eléctrico. |

**Nota:** Categorías del CDC en Etkina (2010) del Programa de Formación de Profesores de Física en la Universidad de Rutgers (Estados Unidos). Una adaptación para el caso de campo eléctrico.

## La fase de acción

En esta fase se procedió a llevar a cabo el levantamiento de información relacionada con la enseñanza interactiva del profesor en el practicum. Así, atendiendo a la perspectiva mencionada de observación no participante se videograbaron las sesiones de clase relacionadas con la enseñanza de la electricidad. Se asistió a dos sesiones de clase (cada una de 80 minutos) previas a la enseñanza del campo eléctrico para familiarización y ambientación del grupo de estudiantes y el profesor con la cámara y el observador (cámara apagada). Las siguientes siete sesiones de clase fueron videograbadas hasta el momento en que el profesor practicante manifestó que había terminado su enseñanza del campo eléctrico y los conceptos asociados. Estas sesiones involucraron clases magistrales en su mayoría, así como trabajo en el laboratorio. El material recolectado se transcribió para efectos de análisis, centrándose en las sesiones en las que el profesor practicante asumió la enseñanza del concepto de campo eléctrico (apéndice G).

La transcripción del material implicó un proceso de sistematización y de asignación de algunos símbolos para efectos de la redacción de las interacciones comunicativas del profesor y sus estudiantes. Un ejemplo de esta codificación se puede ver en la tabla 15.

Se utilizaron estos códigos para efectos prácticos, pues obedecen a una selección personal del investigador dado que se corresponden con términos muy característicos del profesor practicante, los cuales no necesariamente se encuentran en manuales o investigaciones similares.

**Tabla 15.** Ejemplo de codificación para efectos de transcripción del material videograbado

| Caracteres | Significado |
|---|---|
| * | Eh, eh |
| // | Punto |
| ….. | Silencio |
| ♣ | Escribe en el tablero mientras explica verbalmente |
| ± | ¡¿Si?! ; ¡¿listo?! |
| ^ | Risa |
| P. I. | Profesor investigador |
| P. F. | Profesor practicante |
| E | Estudiantes del profesor practicante |
| ☺ | Se oyen varios estudiantes hablando, o uno solo que murmura. |

Adicional a la fase de acción se desarrolló una sesión para estimular el recuerdo, en la que Daniel observaba su clase videograbada, y hacía los comentarios que consideraba pertinentes en cualquier momento. Este proceso también se filmó y el investigador hizo preguntas adicionales a los comentarios de Daniel.

## Fase de sistematización y análisis

En esta fase se procedió a sistematizar la información recolectada y a analizarla. Se utilizaron herramientas informáticas (procesador de texto, hoja de cálculo) así como el programa Atlas-ti ®. La información transcrita se incorporó en una unidad hermenéutica previamente configurada con las componentes del CDC como categorías de análisis.

El proceso se basa en los presupuestos de Bardin (1986) en los que se entiende el análisis de contenido como un

> conjunto de técnicas de análisis de comunicaciones tendiente a obtener indicadores (cuantitativos o no) por procedimientos sistemáticos y objetivos de descripción del contenido de los mensajes, permitiendo la inferencia de conocimientos relativos a las condiciones de producción/recepción (variables inferidas) de estos mensajes (p. 32).

Bardin (1986) se refiere al tipo de análisis pertinente a encuestas de pregunta abierta, es decir, de tipo "clasificatorio".

Una vez se introduce el documento en Atlas.ti ® se procede a relacionar las respuestas del profesor con las categorías preestablecidas, en otras palabras, los componentes del CDC en la matriz de progresión. En este sentido, el análisis se hace de acuerdo con una dimensión clasificatoria predefinida, de manera que las unidades de análisis se entienden como aquellas secciones del documento en las que se encuentra relación con los fundamentos de los componentes del CDC. Se hicieron las anotaciones analíticas (estilo "memo") de primer orden, que consisten en describir las características distintivas en asociación con los componentes del CDC. Adicionalmente, se adelantaron análisis de segundo orden mediante la organización de los reportes del Atlas.ti ® asociados a cada componente.

Ahora bien, dado que Atlas.ti ® es un *software* que facilita el análisis cualitativo de textos, fotografías y audiovisuales, pues permite segmentar las fuentes por analizar en citas, y agruparlas por medio de codificaciones, conviene aclarar aquí que el sentido dado por el investigador al uso de esta herramienta, puede diferir de los objetivos para los que fue inicialmente creada, es decir, para la emergencia de categorías. En efecto, en esta tesis se le da un uso particular al Atlas.ti ® como herramienta que favorece los procesos de organización y sistematización y no necesariamente en el sentido de validar categorias, pues estas se encuentran predefinidas por los componentes del CDC (ver apéndice H). Sin embargo, también es prudente reconocer que el trabajo con el Atlas.ti ® posibilitó caracterizar tales componentes, situación que coadyuvó precisamente a develarlas y constituirlas en fuente valiosa para el cumplimiento del objetivo de la tesis.

## Procedimiento de análisis de la información recolectada en los diferentes instrumentos

El esquema general del proceso de organización y análisis de los resultados de aplicación de los tres instrumentos de recolección de información se desarrolló de la siguiente manera:

1. Transcripciones de la encuesta, de la entrevista, de la planeación y de la sesiones de clase (apéndices A, B, C y D respectivamente).
2. Análisis nivel I:
    2.1. Desarrollo de anotaciones y memos según categorías predefinidas: Contenidos, ideas de los estudiantes, actividades y evaluación (Atlas.ti ®).
    2.2. Desarrollo de anotaciones y memos que se han procurado vincular a una o más categorías (ver ejemplo en la tabla 16a).

2.3. Un reporte de nivel I que identifica el componente del CDC, las citas o fragmentos de texto (Quotation) y un memorando a manera de comentario interpretativo general (ver ejemplo en tabla 16b).

**Tabla 16a.** Ejemplos de desarrollo de anotaciones en el nivel I de análisis

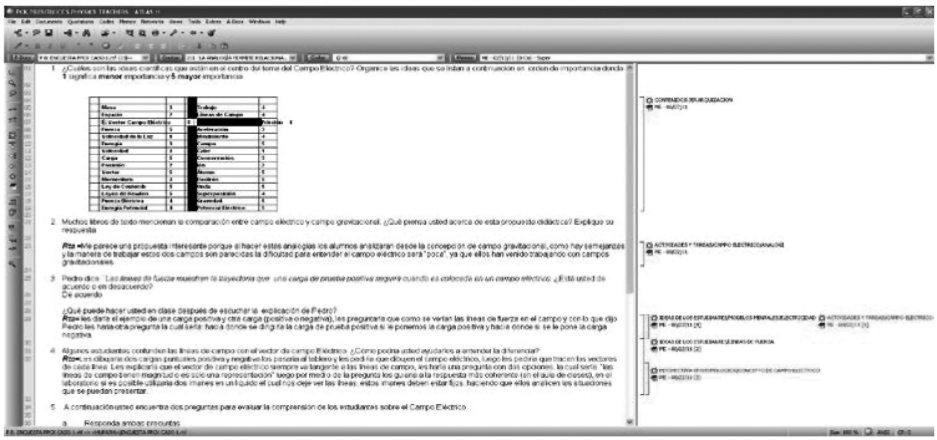


**Tabla 16b.** Ejemplo de reporte de nivel I de análisis

| |
|---|
| **Componente Contenidos** |
| **Familia:** Analogía (3), Campo Eléctrico (1), Contenidos (10), Fuerza (2), Representaciones (6) |
| **Quotation (citas o fragmentos de texto)** [29]: 1:7 (20:00 - 20:49) PF: ¡hummm!//….. (115:115)1:8 (21:24 - 21:40) P.F: ¡Entonces.. (127:127)1:10 (24:53 -25:11) P.F: ¿El 9?, es. |
| **Memorando** |
| Comentario general sobre lo determinado en la categoría contenidos a partir de las anotaciones y los memos. |

3. Análisis de nivel II:

3.1. Interpretación de las anotaciones 2.1 y 2.2 en un cuerpo estructurado para desvelar una caracterización primaria de los componentes del CDC. En este sentido se podría entender que la perspectiva aquí es verificativa de los referentes teóricos organizados previamente, sin embargo cabe también un sentido de coconstrucción de la hipótesis de progresión a partir de esta interpretación de la caracterización, dado el proceso de reconocimiento de emergencias en el análisis de la información. Se organizó la interpretación con la idea de capturar el sentido de lo que el profesor declara o manifiesta en su interacción de clase. Este trabajo se reporta como conclusiones específicas de cada componente.

Una síntesis de cada componente en relación con la hipótesis de progresión. Consiste en un cuadro síntesis en donde se ubican los indicadores interpretativos que permiten situar lo declarado por el profesor en los niveles de referencia de la hipótesis de progresión. Parte de este proceso de interpretación fue triangulado por la doctora Eugenia Etkina de la Universidad de Rutgers (Estados Unidos), el doctor Syh-Jong Jang de la Universidad Cristiana Chung-Yuan en Taiwan, el doctor Onno De Jong de la Universidad Utrecht en Holanda, así como por el grupo de investigación de la Universidad Distrital en sesiones de discusión.

4. Análisis de nivel III

4.1. Una caracterización del CDC con pretensiones metafóricas, que consiste en una interpretación global de los diferentes sentidos que el profesor practicante despliega en la enseñanza del campo eléctrico. Este último nivel de análisis se desarrolla como estrategia que permite reconocer también las relaciones intrínsecas entre los componentes del CDC del profesor practicante.

4.2. Este trabajo de caracterización vía metáforas se acompaña de otra fuente: la estimulación del recuerdo del profesor practicante (ver apéndice F). La entrevista que allí desarrolló también se transcribió y organizó para su posterior interpretación utilizando procesador de texto y Atlas.ti ®. Sin embargo en un sentido de complementariedad, los resultados del análisis de los niveles I y II se incorporan a la configuración de las metáforas asociadas a la enseñanza del campo eléctrico, sesión de clase de la cual se desarrolló la estimulación del recuerdo.

La organización del análisis con pretensiones metafóricas se hace considerando que la metáfora da expresión a realidades abstractas en términos de otras más concretas (Lakoff y Johnson, 2004) y en este sentido se asume como una representación (Coffey y Atkinson, 2003) que pretende encontrar una nueva forma de comprender o significar algo, para este caso el panorama del CDC tanto en relación con la hipótesis de progresión como con elementos emergentes a ella. Si bien se corren riesgos al hacer una interpretación metafórica del CDC, se debe reconocer que esta no es producto de percepciones descontextualizadas de lo que se ha develado en el ejercicio de análisis previo, de ahí viene su fundamentación constructiva en busca de darles sentido. Ahora bien, tal como advierte Sánchez (2011), la metáfora en el discurso científico tiene la ventaja de autorreconocerse en el sentido de la utilidad para representar modos de ver o visiones de las comunidades científicas, y también porque "…buena parte de la terminología científica está constituida por metáforas. Éstas son más frecuentes de lo que se cree" (Boquera, 2005, p. 7 citado en Sánchez, 2011, p. 52). Así las cosas, su utilización en esta tesis tiene una naturaleza heurística en cuanto contribuye a ver una realidad determinada, y una pedagógica porque reconoce el

lenguaje del profesor en formación y permite darle sentido práctico al carácter de su CDC. Adicionalmente las metáforas contribuyen a construir la teoría asociada a los estudios sobre CDC desde un enfoque contextual para el caso de la práctica docente del profesor de Física en preservicio.

Como complemento analítico de la caracterización metafórica, en la parte final de este trabajo se acude a la organización de ejes obstáculo, cuestionamiento y dinamizadores (DOC).

## Síntesis del proceso de análisis de contenido: aspectos procedimentales

El proceso que se desarrolló en el análisis de contenido es como sigue:

1. Transcripción de respuestas de la encuesta, entrevista y planeación.
2. Codificación de unidades de análisis en relación con las categorías [X-Fuente de Información] X: número de la unidad de información según el consecutivo de numeración.
3. Las unidades de análisis son frases o párrafos que resultan tener significancia para el investigador; estas, a juicio de Abela (2003), se constituyen en unidades de registro asociadas a las respuestas. En este caso se ubican en las categorías del CDC que correspondan.
4. A partir del reporte obtenido con memos y comentarios de la agrupación de unidades de análisis por categoría del CDC, se revisó su consistencia con cada categoría, inclusive en aquellas en las cuales una misma unidad de análisis aparecía ubicada en más de una categoría. Esta organización se trianguló con el grupo de investigación.
5. El proceso de análisis subsecuente consistió en establecer similitudes en las afirmaciones de manera que se organizaron grupos de unidades de análisis, resultado de lo cual se comenzaron a generar proposiciones que identificaran estos grupos de unidades de análisis (ver apéndice H). El resultado de este proceso se contrastó con un par académico del proyecto curricular de la Licenciatura en Física.
6. Las proposiciones que inicialmente se construyeron para cada categoría del CDC en relación con cada instrumento y fase de la investigación, se agruparon por semejanza para hacer inferencias e interpretaciones a manera de análisis general.
7. Para todos los niveles de análisis que se presentan en este informe, el subrayado de las unidades de registro y de las unidades de análisis es intencional del investigador, en el sentido de destacar la información más relevante en relación con la caracterización de las categorías del CDC.

Como se puede apreciar (ver tabla 17), este proceso de análisis de contenido trianguló tanto fuentes como sujetos que interpretan, como forma de integración y contrastación de miradas. Los ajustes más importantes radicaron en el uso lenguaje para facilitar la comprensión de los encuestados o entrevistados, para la fase declarativa. Y en el caso de las interpretaciones consistieron en revisar la consistencia interna de la proposición con intenciones metafóricas para reformular algunas de estas, de suerte que aquí se cambiaron unas y se eliminaron otras por no poseer la contundencia en la explicitación del sentido metafórico, como fue el caso de la premetáfora sobre la enseñanza y el artesano.

Para el caso de la validación del HDP se contó con la experiencia de pares, quienes advirtieron elementos de contrastación teórica. En particular lo referente al nivel de formulación integrador se aportó en la ejemplificación de analogías (María Mercedes Ayala y Dino Segura).

**Tabla 17.** El proceso de validación: Aplicación e interpretación de resultados, instrumentos e hipótesis de progresión

| | | **Diseño** | **Aplicación, Interpretación** |
|---|---|---|---|
| **Encuesta** | Pares externos<br>Pares internos<br>Grupo poblacional | Eugenia Etkina, PhD.<br>Universidad de Rutgers EE. UU<br>Dra. Carmen Alicia Martínez<br>Grupo estudiantes Práctica Docente UDFJ | Grupo de investigación<br>Profesor Fabio Arcos<br>Práctica Docente UDFJC |
| **Entrevista** | Par interno<br>Par externo | Grupo de investigación | Grupo de investigación<br>Profesora Pilar Infante (Física PCLF) |
| **Documento de planeación** | Par interno | N/A | Grupo de investigación |
| **HDP** | Pares externos | Eugenia Etkina, PhD.<br>Universidad de Rutgers EE. UU<br>Jang O., PhD, Utretcht U. Nederlands<br>Entrevista semiestructurada:<br>MSE. María Mercedes Ayala, Dino Segura y<br>MSE. Alvaro Ramírez | Grupo de investigación<br>Dra. Carmen Alicia Martínez<br>Evaluadores de publicación Revista indexada B<br>Evaluadores de publicación Revista indexada AI |
| | | | |
| **Interpretación de intención metafórica** | | Pares externos<br>Pares internos | Grupo de investigación<br>Profesor Fabio Arcos<br>Práctica docente UDFJC<br>Dra. Cristina Cifuentes UPN<br>Evaluadores de publicación<br>Revista indexada B |

# Resultados y análisis

En este capítulo se presentan los resultados de la aplicación de los instrumentos de recolección de información asociados a la fase declarativa, así como los relacionados con las videograbaciones de las sesiones de clase correspondientes a la fase de acción. El procesamiento de esta información se llevó a cabo en consecuencia con lo mencionado en el capítulo anterior acerca del análisis de contenido. En este sentido, las unidades de análisis seleccionadas se organizaron en el programa Atlas.ti ® y se procedió a desarrollar el análisis de nivel I y de nivel II. El nivel I identifica el componente del CDC, las citas o fragmentos de texto (Quotation) y un memorando. El nivel II, de mayor profundidad, implicó la interpretación del sentido de lo declarado por el profesor, así como de sus acciones de clase; trabajo que se soporta con las citas textuales o el parafraseo de edición de estas, de manera que permitieron organizar características del CDC en cada componente. Asociado a este nivel II de análisis se reporta su correspondiente relación con la hipótesis de progresión desarrollada en el capítulo anterior.

Se presentan a continuación los resultados del análisis de los instrumentos de investigación. La exposición se hace de manera secuencial en concordancia con el momento en que los instrumentos fueron aplicados. La estructura de análisis consiste en organizar las respuestas del profesor practicante en relación con los componentes del CDC en la hipótesis de progresión. Si bien se puede evidenciar un interés por reconocer que la frecuencia de los tipos de respuestas sirve como factor de asignación a cada componente del CDC en la hipótesis de progresión, conviene mencionar que siempre existió un interés analítico por explicitar los argumentos que evidencian la relación entre tales respuestas y los niveles de progresión, más allá del simple conteo de palabras que aparece tanto en la hipótesis de progresión como en las respuestas del profesor o en las interacciones con sus estudiantes en clase.

El estilo analítico se fundamentó en una sistematización y organización de los documentos transcritos considerando las siguientes convenciones:

## Resultados fase declarativa

### Análisis de las respuestas de la encuesta y la entrevista, y planeación

Los resultados de la encuesta [ENC], la entrevista [ENT] y el documento de planeación [PA], se analizan de acuerdo con los componentes del CDC, por esto en lo que sigue se distingue la interpretación de las respuestas del profesor practicante (Daniel) en relación con tales categorías, proceso que se acompaña de una referencia a la hipótesis de progresión en cada caso. El estilo discursivo que se usará en adelante refiere a Daniel como el profesor practicante.

**Figura 36.** 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- ENT]***

**X**: Número de línea del documento, lugar donde se encuentra la unidad de información referenciada.

**ENT**: Entrevista

***[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-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.

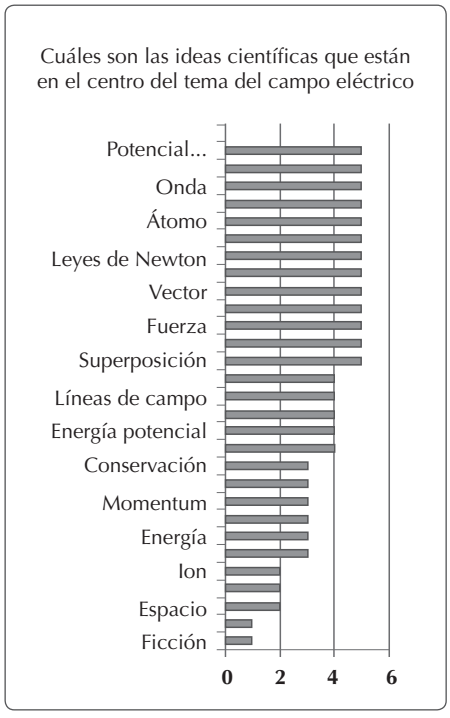
## *Resultados y análisis del componente Contenidos*

Los contenidos conceptuales a los que refiere la encuesta [ENC] son organizados por Daniel al asignarles un valor de importancia, de los cuales se infiere un tipo de jerarquización particular. Aquí cabe decir que la importancia dada a los conceptos de fuerza y las leyes de Newton evidencia la perspectiva de los prerrequisitos necesarios para Daniel en el proceso de enseñanza del campo eléctrico. Adicionalmente, él menciona en la entrevista que estos conceptos "primarios" deben incluir la analogía del campo gravitacional, la cual se puede utilizar para enseñar el campo eléctrico en el marco de la electrostática y considera que la secuencia de enseñanza debe seguir el trayecto de lo simple a lo complejo, sin embargo estos se han de entregar a los estudiantes, de lo cual también se infiere una perspectiva pedagógica de corte transmisionista.

A continuación se describen las características del CDC en relación con los contenidos.

### Jerarquización de contenidos conceptuales

**Figura 37.** Jerarquización de contenidos conceptuales asociados al campo eléctrico. Las respuestas de Daniel se encuentran distribuidas de acuerdo con el rango de importancia (0-5)



Con base en las respuestas de Daniel a la encuesta (apéndice A) se procede a analizar los datos tabulados para la pregunta 1 (¿Cuáles son las ideas científicas que están en el centro del tema del *campo eléctrico?*) en busca de interpretar la jerarquización que Daniel establece de los conceptos asociados al campo eléctrico (ver figura 37), suponiendo que la importancia explícita asignada por Daniel se encuentra dada en términos de la frecuencia de asignación del valor mayor (5), y considerando que en principio cada uno de los ítems del cuadro tiene o se encuentra en el mismo nivel de referencia (Bardin, 1986, p. 83) en cuanto a su importancia en el contexto de la física y de su enseñanza.

La jerarquización de los contenidos conceptuales para la enseñanza del campo eléctrico se centra en una visión de carga eléctrica puntual, en la que las leyes de Newton y la ley de Coulomb son necesarias para comprender el campo eléctrico. Otro aspecto es lo que se revela en cuanto a los contenidos conceptuales previos del plan de estudios de física en el bachillerato, ya que en el orden de importancia máximo de la jerarquía, estos conceptos suman casi un 40% de los seleccionados. Ahora bien, dado que en segundo orden de importancia se encuentran temas que en su mayoría están en estricto asociados con la electricidad, se hace concebible considerar que Daniel se centra en contenidos conceptuales de la electrostática como refuerzo quizás del énfasis que desea manifestar deben tener los temas que permitan la comprensión el campo eléctrico, tal como se puede observar en el documento de planeación [1-PA]. La jerarquización de los contenidos evidenciada en la encuesta [ENC] prioriza conceptos que son transversales a lo que Daniel considera en su planeación [PA], en la que organiza los contenidos conceptuales considerando la secuencia: carga eléctrica→ley de Coulomb →campo eléctrico→líneas de fuerza→experimento con electroscopio→experimento con generador de Van de Graaff (GVDG)-→evaluación [1-10 –PA].

### La analogía: contenido previo particular

Por otra parte, se encuentra la analogía como contenido previo, en particular la analogía con el campo gravitacional, que resulta ser un contenido necesario para Daniel dado que lo entiende como ya visto y, por lo tanto, puede ser usado (de ahí el sentido de "previo"). Al respecto, para la pregunta de la encuesta: "Muchos libros de texto mencionan la comparación entre campo eléctrico y campo gravitacional. ¿Qué piensa usted acerca de esta propuesta didáctica?", Daniel responde:

> Me parece una propuesta interesante porque al hacer estas analogías los alumnos analizarán desde la concepción de campo gravitacional, como hay semejanzas y la manera de trabajar estos dos campos son parecidas, la dificultad para entender el campo eléctrico será "poca", ya que ellos han venido trabajando con campos gravitacionales [2- ENC].

Al parecer el enfoque del concepto de campo es el mismo para el caso gravitacional que para el eléctrico, pues Daniel no diferencia las características propias de los fenómenos asociados a los dos campos, ni describe sus elementos ni relaciones intrínsecas (Greca y Moreira, 1998).

Ahora bien, en la entrevista también destaca que la analogía tiene un sentido de contenido previo:

> Pues, prácticamente porque tiene muchas aplicaciones, tiene pues, analogías en la naturaleza, cosas que ellos ya han como entendido, que tiene como concepto anterior; creo yo porque no sé qué habrá hecho el profesor anterior. Por ejemplo lo de la carga ellos tendrán la analogía de que es algo parecido a la gravedad o que una carga atrae otra carga o repele otra carga ¿sí? O sea, la mayoría de cosas que pasan acá, en la naturaleza y en eso, es por eso y uno de los fenómenos por ejemplo como puede ocasionar un rayo, o sea por qué un pararrayos atrae un rayo, ¿sí? [50-ENT].

Y posteriormente resalta:

> Yo les pienso decir que ellos qué piensan de campo gravitacional, para partir del concepto que ellos tienen de campo gravitacional. Entonces yo les diría: "Esto tiene alguna fuerza, ¿cierto? Les muestro algún objeto, esto tiene alguna fuerza, ¿cierto?", entonces eso se debe al campo gravitacional, entonces yo les digo: "En el campo eléctrico es exactamente lo mismo, solo es con cosas que usted al ojo humano no puede ver…" [65-ENT].

Dada esta situación podría acudirse a conceptos de campo genéricos como el planteado por Torres (2003) cuando lo define como "[…] un ente físico con atributos distribuidos en una región del espacio, en contraste con una partícula, cuyas propiedades están concentradas en un solo punto" (p. 71). Para el caso del campo eléctrico aclara que "las fuentes de campo eléctrico son cargas eléctricas en reposo o en movimiento, y campos magnéticos variables[…]" (p. 72).

### La existencia de contenidos primarios

Del análisis de la entrevista se destaca cómo Daniel considera que existen conceptos altamente relacionados con el campo eléctrico, que devienen del área de la física mecánica como lo son fuerzas, leyes de Newton, vectores y campo gravitacional; otros tienen fuente en la electricidad tales como carga y líneas de corriente. Se aprecia una jerarquía de estos conceptos pues se distingue entre "conceptos primarios" sobre los cuales se basa el concepto de campo eléctrico. En este sentido Daniel afirma:

> El concepto de carga; creo que, creo que sería lo nuevo ahí para ellos, porque todo entendían como masas y no como cargas, algo que está dentro: cargas; esto podría ser algo nuevo. Ah, bueno, lo de líneas de corrientes para que no confunda con vectores, porque los vectores, primero que todo vectores tiene que tenerlo claro, porque si no van a confundirlo con líneas de corriente… ¿Cuáles más? Ah, campo eléctrico que

> vendría después de los conceptos primarios. ¿Qué más? Que no se me escape más, ah pues ahí yo diría que son los más elementales [57-ENT].

Tales conceptos "primarios" en últimas son los conceptos de carga y fuerza eléctrica, correspondiéndose con una visión más bien tradicional de corte acumulativo como fue presentado en el capítulo I en la hipótesis de progresión. Al revisar la planeación se verifica que la secuencia de organización ratifica esta idea de contenidos primarios en el sentido del orden en que se planea dar la clase de campo eléctrico. Así, los contenidos van desde el concepto de carga eléctrica [2-PA], pasando por la ley de Coulomb [4-PA] y luego llegando a campo eléctrico [7-PA].

Sin embargo se puede inferir también que habría otro elemento para señalar como "la analogía". En efecto, Daniel supone que si los estudiantes saben lo que es el campo gravitacional entonces van a comprender lo que es el campo eléctrico, es decir, que no solo hace referencia a contenidos conceptuales necesarios para aprender el campo eléctrico, sino que considera que este razonamiento analógico sería importante en su enseñanza, especialmente al afirmar que los estudiantes: "Deben saber lo que es campo gravitacional, porque con eso pueden entender lo que es campo eléctrico, para hacer analogías" [57-ENT]. En términos de Hashweh (2005) este aspecto puede ubicarse en lo que denomina el conocimiento de las características de sus estudiantes y del conocimiento del currículo. En particular habría que aclarar que se constituyen en un conocimiento del contenido conceptual previo que se relaciona con el que se va a trabajar en la clase.

### El papel del docente en la transmisión de los contenidos

Para Daniel la enseñanza del campo eléctrico requiere en primer lugar que los estudiantes reciban un conocimiento por parte suya. Así, se supone que los conocimientos son brindados por Daniel, se refiere entonces a los contenidos conceptuales desde una perspectiva acumulativa, que serían los básicos o "elementales", además se alude a que con esta base los estudiantes estarían dotados para la parte experimental. Sin embargo esta solo consistiría en aplicar tales conocimientos básicos para explicar las situaciones experimentales. En este sentido Daniel comenta:

> Primero entonces sería darles un conocimiento. ¡Ta! Darles los conceptos y lo elemental al comienzo, para que ellos lo apliquen en lo experimental. Yo me estoy radicando más para que ellos vean o sea ellos son más como experimentalistas, en ese punto yo me veo más experimentalista, pero igual yo me considero que yo los llevo, los voy llevando, los voy guiando, soy como un guía, no como mando sino como un guía, de esto está bien, esto está mal, le falta tal vaina. Entonces si como un guía [127-ENT].

> A: ¿Por qué es importante hacer eso primero? Eso que tú dices primero. Darles el conocimiento, lo básico [128-ENT].

> B: Pues primero que todo es que si uno les bota como el experimento pues ahí va el orden, lo que uno dice orden, porque se dice que el orden sería: clase magistral, ejercicios y laboratorios para algunas personas. Para otras personas sería: laboratorio, pero es que a mi consideración mandar los laboratorios de comienzo sería una buena idea, pero ellos no tendrían bases de donde reforzar lo que ellos están haciendo, ah, sería bueno trabajar todo a la par, pero todo a la par no se puede, entonces por eso fue que yo lo hice como en tres partecitas, ejercicios, laboratorios y clase magistral. Pero yo empiezo con clase magistral para darles bases para que ellos se sostengan en lo experimental [129-ENT].

Aun cuando existe la posibilidad de hacer algo diferente, para el caso que se comenta, se invalida el papel de la experimentación como posibilitadora de construcción conceptual y se relega a la aplicación de contenidos conceptuales, aspecto que evidencia tanto la jerarquización de los conceptos [1-ENC] como la secuenciación dada por Daniel en la planeación que se puede observar de los conceptos a la experimentación. En el caso de cargas eléctricas, por ejemplo, primero se aborda el concepto para luego hacer experimentos con electroscopio [2,3,4,5-PA]. De igual forma sucede con el concepto de campo eléctrico y líneas de fuerza [7,8-PA]. Así, los experimentos están basados en la clase magistral y no en la construcción conceptual de los estudiantes.

### La noción de prerrequisito refuerza los contenidos primarios

Cuando se inquiere a Daniel por la relación que tiene el tema del campo eléctrico con los otros que se tratan en la enseñanza de la física en el bachillerato, se aprecia cómo hace énfasis en una perspectiva de corte no reflexivo y en algunos casos de asumir los discursos de los libros de texto, especialmente cuando afirma: "Campo gravitacional sería uno, leyes de Newton sería uno por las fuerzas; deben tener claro fuerzas […]" [261- ENT]. Estos son los temas que se relacionan con el campo eléctrico, es decir, se alude a aquellos que han sido calificados por Daniel como prerrequisito, pero se dejan de mencionar otros relacionados con la electricidad, aun cuando Daniel también anota:

> Ah bueno, en este momento no utilizamos las ondas, no creo que sea como prerrequisito [261-ENT]… Campo eléctrico y magnético y ya después se van dar cuenta por ejemplo en óptica, en óptica física ¿no? Vamos a tener relaciones pues casi todo va a estar ligado ahí, o sea todo va a estar ligado aunque no se vea muy claro, va a estar ligado de alguna manera. No es prerrequisito, pero si tiene cosas de cada una [263-ENT].

Así las cosas, Daniel manifiesta la necesidad de considerar que los contenidos conceptuales requieren un ordenamiento; en particular cuestiona la afirmación del tutor del colegio de la práctica docente cuando afirma que:

> O sea, como el profesor dice [refiriéndose al profesor tutor del Colegio] no tiene como prioridad algo anterior según él; para mí si debe tener su orden. Ellos deben tener conceptos a priori ¿sí? Deben tener, que yo creo que deben estar claros, pero yo sé que no van a estar claros como lo de vector, lo de fuerza, leyes de Newton, campos gravitacionales, cosas así, entonces deben tener conceptos más que mirar más… ¿Cómo se dice? … Que va en orden. Debe tener conceptos de cosas que se ven, que son elementales ahí en campo eléctrico [259-ENT].

Para Daniel los conceptos llamados "elementales", que preceden al tratamiento del concepto de campo eléctrico son: "vectores, campo, carga, campo gravitacional y fuerzas" [57-ENT]. Estos conceptos previos son contenidos asociados a la enseñanza de la física del grado anterior, pero que Daniel también los ha asociado como contenidos "primarios" discutidos en un apartado anterior en razón a la organización de su planeación [PA]:

1. "Carga eléctrica…" [2-PA].
2. "Cargas por fricción y por inducción" [3-PA].
3. "Ley de coulomb, ejercicios y participación" [4-PA].
4. "Experimentos caseros y electroscopio, los experimentos caseros se harán en forma de museo" [5-PA].
5. "Socializar experimentos"[6-PA].
6. "Exposición en video, ven campo eléctrico, intensidad de campo y líneas de fuerza" [7-PA].

Cabe entonces preguntarse si la consideración de "conceptos elementales" estaría asociada a que son temas abordados anteriormente por los estudiantes. ¿Es esta una mirada causal-lineal del tratamiento de los contenidos?, y ¿en qué sentido esto termina contribuyendo a un enfoque transmisionista de la enseñanza de la electricidad?

### Aportes a la hipótesis de progresión

Por último, en relación con la hipótesis de la hipotesis de progresión, se observa que:

1. Tanto por la jerarquización como por la propuesta de la analogía, el CDC de Daniel en la categoría contenidos presenta indicadores tanto de nivel I como de nivel II, en la que asume una perspectiva lineal acumulativa y el prerrequisito es fundamental. Conviene aquí preguntarse si esta perspectiva se deriva de su experiencia formativa tanto en los cursos de física, de matemática así como de aquellos de didáctica y de pedagogía en su programa de licenciatura. En este sentido, ¿qué papel cumple su proceso de formación en lo que respecta a la formación de los contenidos?

2. La manera como Daniel organiza los contenidos conceptuales en su hoja de planeación, ratifica la perspectiva tradicional cuando trabaja con ellos al asumir una perspectiva acumulativa (niveles I y II) que va desde los conceptos de carga eléctrica, pasa por ley de Coulomb para llegar al concepto de campo eléctrico, y proceder a experimentar. Así, su planeación obedece a la secuenciación de temas que lleva implícito el enfoque de enseñanza que va de lo teórico a lo experimental. Daniel hace referencia al carácter de los contenidos procedimentales (nivel II), los cuales están asociados a la propuesta de desarrollar experimentos "caseros" [5-PA] tipo "museo" [5-PA], que se exponen y comparten (nivel III). Sin embargo los contenidos actitudinales no formaron parte explícita de la planeación, excepto cuando se refiere a valorar la *participación de los alumnos* [4,15-PA], y la puesta en común en el museo, con lo que se evidencia también una disposición por considerar tanto los intereses de los estudiantes como los del profesor.

**Tabla 18.** Síntesis fase declarativa en el componente de Contenidos

| Nivel | Nivel I (no reflexivo) | Nivel II (reflexivo lógico) | Nivel III (innovador)] | Nivel IV (reflexivo integrador) |
|---|---|---|---|---|
| **Encuesta [ENC]** | La jerarquización es muy similar a la de los libros de texto. | Incluye la analogía con el campo gravitacional, a manera de prerrequisito.<br>Favorece una visión acumulativa de los contenidos. | n. a. | n. a. |
| **Entrevista [ENT]** | La planeación se contrasta analógicamente con los listados de los libros de texto.<br>Hay contenidos "elementales" que deberían saber los estudiantes antes. | Incluye actividades experimentales. | Propone que los estudiantes lleven sus experimentos en una sesión estilo "museo". Implica que los contenidos están sujetos a sus intereses. Incluye contenidos actitudinales sujetos a los contenidos conceptuales. | n. a. |
| **Planeación [PA]** | n. a. | Acumulativa lineal: orden de los libros de texto, involucra contenidos procedimentales con el trabajo de laboratorio, experimentos con el GVDG, y caseros. | El museo como espacio para desarrollar contenidos procedimentales. | n. a. |

## *Resultados y análisis del componente Ideas de los Estudiantes*

Las ideas de los estudiantes son relevantes para el profesor practicante en cuanto le permiten evidenciar los trayectos por donde "encaminarlas", de suerte que logren modificar sus modelos mentales. Así, él reconoce que los estudiantes tienen ideas sobre la electricidad y pretende validarlas en contraste con la información que él como profesor tiene sobre el campo eléctrico. Ejemplos de estos procesos serían trabajar con el electroscopio, el globo y el tubo. Sin embargo las ideas que se reconocen en sus estudiantes están mediadas por un enfoque lineal acumulativo en el que las leyes de Newton, el campo gravitacional y la fuerza serían conceptos "elementales" que se deberían saber. En este sentido, las ideas de los estudiantes adquieren relevancia en la clase no solo porque permiten evidenciar los conceptos previos, sino que adicionalmente favorecen la discusión y la generación de nuevas preguntas. En particular las preguntas que se proponen parecen cuestionar las concepciones que se pueden tener sobre el movimiento de cargas eléctricas en campos eléctricos producidos por cargas puntuales, enfatizando en buscar "hacia dónde se dirige" la carga. Ahora bien, Daniel también señala la importancia de cuestionar las ideas de los estudiantes por medio de la representación de las líneas de fuerza y los vectores. En este sentido, las ideas de los estudiantes se pueden guiar a lugares de mayor coherencia, y quien debe hacer el papel de guía es Daniel, en el marco de una especie de confrontación a partir de lo que él lleva como conceptos, es decir:

> […] tiene uno que empezar a dar los conceptos para que los estudiantes comiencen a preguntar desde ahí, si es que empiezan a preguntar, eso es lo que yo espero, entonces que empiecen a preguntar es, bueno otra forma de trabajar esos modelos es con preguntas, preguntas abiertas […] cerradas, o sea que no sean de números [18-ENT].

### Los estudiantes tienen modelos mentales

Dado que Daniel reconoce la existencia de "modelos mentales-modelos conceptuales", pero no explicita ni amplía su enfoque didáctico al respecto, esta categoría resulta emergente. Así, a la hora de planear la clase, Daniel considera que:

> Claro, porque cada estudiante tiene su modelo mental como dice la didáctica. Nosotros podemos trabajar modelos mentales y modelos conceptuales, los modelos mentales son con los que viene los estudiantes que lo que uno hace al transcurso de las clases es moldear eso modelos mentales, si "moldear"; entonces lo que hace uno es coger esos modelos mentales este bien o este mal reforzarlos y encaminarlos, bueno mal no es mucho lo que esté, y encaminarlos a un modelo coherente [14-ENT].

Daniel le atribuye a la didáctica el referente teórico mediante el cual se establece el reconocimiento de las ideas de los estudiantes, en particular en cuanto a modelos mentales. Esto revela una reflexión basada en su formación didáctica, posiblemente

de sus cursos anteriores a la práctica o del curso de Didáctica de la Física III que se encuentra estudiando paralelamente a su práctica docente. Asimismo, considera que el trabajo de los profesores consiste en tomar tales ideas y "moldearlas". Aun cuando se puede decir que las ideas son buenas o malas, Daniel se asocia a un guía en cuanto procura transformar los modelos mentales de los estudiantes. Al respecto conviene destacar lo que declara en la encuesta:

> […] al hacer estas analogías los alumnos analizarán desde la concepción de campo gravitacional, como hay semejanzas y la manera de trabajar estos dos campos son parecidas la dificultad para entender el campo eléctrico será "poca", ya que ellos han venido trabajando con campos gravitacionales [2-ENC].

Con ello también reconoce que sus estudiantes tienen una forma de comprender la interacción gravitacional a partir del concepto de "campo gravitacional", que podrían utilizar para comprender el campo eléctrico.

Daniel también declara cómo tendrían en cuenta las ideas de los estudiantes cuando revisa el plan de aula, ya que:

> En la planeación yo puse que participación de los alumnos, en la participación uno no alcanza a ver pues todos los rastros de estos modelos, pero se ven algunos entonces se empiezan a tomar estos modelos, a encaminarlos, en los laboratorios empiezan a surgir preguntas porque hasta ahora en la práctica que he hecho han surgido preguntas y yo he encaminado esos modelos y los muchachos han entendido. En ciertas circunstancias hay cosas que uno no sabe cómo explicarles porque uno no tiene la suficiente experiencia y uno trata de explicarles y los muchachos entienden [16-ENT] [ver también: 5,6,9,15-PA].

Con esto, para Daniel las ideas de los estudiantes también surgen en el proceso de desarrollo de actividades como los laboratorios, entendidos como espacios que posibilitan el surgimiento de inquietudes y cuestionamientos, imprimiéndoles un carácter contextual asociado a la práctica experimental. Desde este punto de vista los laboratorios son espacios potenciadores de reflexión acerca de lo que se piensa sobre un fenómeno y, dado que se desarrollan en lugares concretos y con materiales específicos, las ideas adquieren un matiz de producción con base en estas condiciones. Sin embargo aquí conviene preguntarse si la idea de "encaminar" el conocimiento a los estudiante es una forma de denominar el proceso de explicación.

## En cuanto al modelo de campo eléctrico

### *Análisis de la entrevista*

Daniel lanza una hipótesis sobre el modelo mental que tendrían los estudiantes, asociándolo con lo "… que ellos tendrían al comienzo es que es como un campo que existe en la naturaleza, pero que ellos no saben que hay cargas y nada de esos

conceptos de carga, descarga ..." [18-ENT]. Esta asociación del campo eléctrico con un modelo de campo en la naturaleza, considera que los estudiantes le dan una ontología al campo sin describir necesariamente la causa de este asociada a la existencia de carga eléctrica. Con esto, Daniel tiene una herramienta que permite la confrontación —como se ha mencionado—, y desde luego posibilita el proceso de "encaminar" estas ideas hacia "un modelo coherente", por ejemplo el caso de la diferencia entre vector y línea de fuerza:

> […] en el transcurso de las clases se da uno cuenta que no es así, entonces tiene uno que tomar un comienzo que de que un vector es diferente a una línea de campo y … tiene uno que empezar a dar los conceptos para que los estudiantes comiencen a preguntar desde ahí […] [18-ENT].

Al parecer el papel de Daniel sería también el de completar el modelo de los estudiantes, haciendo que estos reflexionen sobre la característica vectorial que la física le asocia al concepto de campo, y sobre la importancia de la carga eléctrica en la generación de este, y la solución planteada por Daniel estaría en procurar que el estudiante diferencie el concepto de vector frente al concepto de línea de fuerza, al informar los conceptos. Es decir, de todas formas es a partir de las definiciones que haga Daniel desde donde se pueden empezar a discutir las ideas de los estudiantes.

Por otra parte, dado que los estudiantes no deben estar familiarizados explícitamente con los campos eléctricos, entonces hay que brindarles información sobre situaciones cotidianas. Al respecto el profesor practicante comenta:

> El campo eléctrico se da en tal lado y tal lado y que se puede ver en cualquier parte, o que usted dentro de su cuerpo también puede tener carga ¿sí? Entonces, ¿usted no ha sentido un corrientazo cuando se pega con alguien? … o sea ejemplos cotidianos [59-ENT].

Sin embargo Daniel supone que los estudiantes "no tienen las herramientas" para comprender inicialmente el lenguaje asociado al campo eléctrico y, en consecuencia, sus ideas sobre el campo eléctrico se consideran de forma implícita ligadas a las experiencias, mas no como resultado de algún proceso de reflexión sobre ellas. Pareciera que se reconoce que los estudiantes tienen experiencias en la vida, pero que no las han conceptualizado por su complejidad.

### La pregunta, mecanismo fundamental

Daniel considera que la generación de cuestionamientos iniciales es clave en su proceso de enseñanza, por ello se le ocurre que les preguntaría cosas como*:* "¿qué pasa si ponemos un globo de carga positiva y… frotamos con una lana un tubo?, ¿qué pasaría si acercamos el tubo?, ¿cómo se cargaría ese tubo?" [20-ENT]. Así, la experiencia de inducción como una forma de provocar el surgimiento de preguntas

en los estudiantes sobre la electricidad, parece ser la más adecuada para Daniel; aun cuando pregunta por los efectos también se pregunta por la forma en que queda cargado uno de los cuerpos. Por ende, les atribuye a los estudiantes una manera de comprender el proceso de electrificación, pues aunque "[…] ellos no pensaran que está distribuida la carga […]" [26-ENT], si hablarían de la atracción y "[…] dirán que el globo está cargado de una manera, … entonces estará cargado positivamente y si frotamos estará cargado positivamente y no van a pensar que también hay cargas negativas en el este, entonces van a decir se atrae por tal vaina, solo se atrae" [26-ENT]. Así, el "modelo mental" que prefigura Daniel de sus estudiantes tiene rasgos distintivos: (a) Esta asociado a la idea de carga eléctrica; (b) no distingue los tipos de carga eléctrica; (c) supone que los cuerpos por frotación quedan cargados eléctricamente; (d) considera que los cuerpos solo tienen un tipo de carga eléctrica pues los estudiantes "[…] no van a decir que está distribuida la carga que tal vaina" [26-ENT], y (e) no contempla la idea de campo eléctrico para explicar el fenómeno.

Daniel considera que el modelo mental de los estudiantes les permite explicar la carga de un electroscopio, por eso él plantea que:

> […] dirán que bueno, está cargado [el electroscopio] de alguna manera, que tiene una carga y que al frotarlo se le va a mandar otra carga. Entonces al juntarlos las cargas se van a ir para los palitos… por el cobre, esto hace que se atraigan o se repelen, pero ellos no van a creer [que se van a] repeler porque ellos no tienen el [conocimiento] pues creo [155-ENT].

Así, las ideas de los estudiantes sobre la carga eléctrica parecen ser suficientes para entender lo que le sucede a las hojas del electroscopio. En este sentido no solamente se reitera que la idea de carga resulta ser fundamental (y única) para explicar el fenómeno, sino que esta idea es una de las que Daniel espera que sus estudiantes posean, o manejen a la hora de llevar el electroscopio al salón de clase, es decir, como idea previa de lo positivo y negativo, la atracción y la repulsión ya que "… entonces ellos [los estudiantes] van a decir que esto se va cargar de una manera y esta de otra, entonces como vimos se repelen cuando son cargas diferentes. Eso es lo que más o menos dirán" [155-ENT].

En este sentido, Daniel propone formular la pregunta sobre la interacción con el electroscopio, pues "ahí surgirá alguna pregunta de algo, porque ellos han hecho preguntas. Entonces uno les dice; ¿A su criterio usted qué cree?" [155-ENT]. En efecto, el cuestionamiento sobre el comportamiento de las hojas del electroscopio al distanciarse es importante para Daniel, en especial en relación con la interacción que se genera con el objeto cargado eléctricamente que se acerca, o con el que se hace contacto. Por lo tanto, Daniel supone que los estudiantes utilizarán los conocimientos informados en la sesión teórica, así como sus modelos mentales (o ideas), que se reducirían a determinar el tipo de cargas ya que la hojas del electroscopio se repelen, entonces habría que concluir que las hojas quedan cargadas con el mismo

tipo de carga (aunque declara lo contrario al afirmar, "entonces como vimos se repelen cuando son cargas diferentes").

Adicionalmente a lo declarado en la entrevista, el proceso de triangulación con los resultados de la encuesta deja ver que la generación de preguntas a sus estudiantes resulta relevante para Daniel, en particular cuando se le inquiere por las formas de explicación de los conceptos de líneas de fuerza y campo eléctrico. Al respecto, él cree que la confusión entre estos dos conceptos se podría trabajar de la siguiente manera:

> Les dibujaría dos cargas puntuales, positiva y negativa, los pasaría al tablero y les pediría que dibujen el campo eléctrico, luego les pediría que tracen los vectores de cada línea. Les explicaría que el vector de campo eléctrico siempre va tangente a las líneas de campo, les haría una pregunta con dos opciones, la cual sería: "¿Las líneas de campo tienen magnitud?, o ¿es solo una representación?". Luego por medio de la pregunta los guiaría a la respuesta más coherente (en el aula de clases), en el laboratorio si es posible utilizaría dos imanes en un líquido el cual nos deje ver las líneas, estos imanes deben estar fijos, haciendo que ellos analicen las situaciones que se puedan presentar […] [4-ENC].

Las dos preguntas resultan siendo elementos claves para que Daniel "guíe" las respuestas de sus estudiantes en términos de coherencia para luego acudir al laboratorio y comprobar.

Finalmente, en la encuesta el profesor practicante también propone preguntas adicionales que estaría dispuesto a hacerles a sus estudiantes sobre el caso de la canastilla [ver apéndice A] de la siguiente manera:

> Yo la primera pregunta la dejaría así, pero le agregaría una segunda situación la cual sería: "¿Qué pasaría si el péndulo lo pongo en el centro de la canasta?, y ¿por qué sucede esto?". Y para la segunda pregunta dos situaciones, una es con las cargas pero sin ningún dato numérico sería, ¿qué pasaría con la fuerza y el campo eléctrico si disminuimos o aumentamos una carga? Y la otra situación, ¿qué pasaría si aumentamos o disminuimos la distancia? [5-ENC].

Así, las preguntas que Daniel adiciona complementan el análisis de la situación. Para el caso de la primera cambian las condiciones de lugar del péndulo (la distancia equivalente dado que la coloca en el centro de la canastilla de naturaleza circular) e indaga por los efectos; para el caso de la segunda cambian las condiciones de la cantidad de carga y de la distancia entre cargas, e indaga en ambos casos por los efectos. Al respecto, nótese la similitud entre la ley de Coulomb y las preguntas que el profesor practicante complementa. En este sentido cabe preguntarse: ¿Estas cuestiones permiten concretar el proceso de "guianza" hacia "la respuesta más coherente"? ¿Por qué se hace énfasis solamente en este tipo de preguntas que guíen la ley de Coulomb y no la ecuación de intensidad de campo eléctrico?

### Los prerrequisitos

Cuando se cuestiona en la entrevista a Daniel por los conceptos asociados al campo eléctrico, surge la idea de líneas de corriente, en el entendido de poder establecer diferencias con la idea de vector "[…] porque los vectores, primero que todo lo de vectores tienen que tenerlo claro, porque si no van a confundirlo con líneas de corriente […]" [57-ENT], con lo que él enfatiza una noción de conceptos prerrequisito frente a lo que los estudiantes deberían saber previamente para comprender el campo eléctrico, incluso para evitar dificultades como la confusión entre líneas de corriente y vectores.

En otro aparte de la entrevista, comenta sobre la relación del campo eléctrico con otros elementos del currículo lo siguiente:

> O sea, como el profesor dice no tiene como prioridad algo anterior según él; para mí sí debe tener su orden. Ellos deben tener conceptos a priori, ¿sí? Deben tener, que yo creo que deben estar claros pero yo sé que no van a estar claros como lo de vector, lo de fuerza, leyes de Newton, campos gravitacionales, cosas así, entonces deben tener conceptos más que mirar más […]¿Cómo se dice? […] que va en orden. Debe tener conceptos de cosas que se ven, que son elementales ahí en campo eléctrico [259-ENT].

Así, los estudiantes deben tener ideas previas, eso es claro para Daniel, sin embargo estas se ven como un prerrequisito para la comprensión del campo eléctrico, especialmente en el sentido de que los conceptos "… deben estar claros […] como el de vector, lo de fuerza, leyes de Newton, campos gravitacionales […]" . Este aspecto resulta también de una contrastación que hace con el diálogo establecido con un tutor de la práctica docente del colegio, quien le había dicho que el orden de los temas no importaba y ante lo cual él opina: "como el profesor dice [un tutor de la práctica docente en el colegio] no tiene como prioridad algo anterior según él; para mí sí debe tener su orden".

Al respecto conviene advertir que ya en la categoría Contenidos se ha comenzado a caracterizar una noción de conocimientos prerrequisito, que resulta consistente con lo declarado en la entrevista y que devienen en lo que el profesor practicante también califica como conceptos "elementales". [2-PA], [4-PA], [5-PA], [6-PA], [7-PA], en que la idea de fuerza, entre otras, es "primaria" [57-ENT] , [259-ENT], [261-ENT] , [263-ENT]. Esta triangulación revela que su noción de prerrequisito es similar a la que subyace en los libros de texto, aspecto que se evidencia en la secuenciación de los contenidos que estos presentan y, por ende, en la manera como han de ser aprendidos por los estudiantes. Por esto, las ideas de los estudiantes sobre campo eléctrico habrían de ser construidas con base en lo que ellos sepan sobre "vectores, fuerza, leyes de Newton y campos gravitacionales" y no necesariamente sobre lo que sepan acerca de situaciones o fenómenos cotidianos cuya explicación trascienda tales prerrequisitos.

### Aportes a la hipótesis de progresión

Por último, en relación con la hipótesis de la hipotesis de progresión, para el componente de Ideas de los Estudiantes se observa que el CDC de Daniel en esta categoría estaría caracterizado por un reconocimiento de que los alumnos tienen ideas previas, pero que estas deben ser transformadas (guiadas) hacia ideas coherentes asociadas a las de la física. Por lo tanto, el CDC posee mayoritariamente características asociadas al nivel II (ver tabla 19).

El profesor practicante supone que las ideas de los estudiantes sobre campo eléctrico se pueden determinar solamente si se verifica que ellos conocen sobre campo gravitacional, fuerzas y superposición. Esto también se confirma con sus criterios respecto a los conceptos elementales, necesarios y suficientes para comprender el campo eléctrico. Así las cosas, él se ubica en el nivel II (reflexivo lógico) puesto que "los conceptos de vectores, campo, carga, campo gravitacional, carga y fuerzas" son considerados por él como "los más elementales" o "primarios", pero también los prerrequisitos obligados para comprender el "campo eléctrico", que "… vendría después…". En efecto, aquí toma unos conceptos "primarios" o "elementales", ya sea como prerrequisito o como asociados a un entorno más inmediato ("carga") a escala temporal en el tratamiento curricular del campo eléctrico. Esta presunción también se corrobora cuando comenta sobre la importancia del concepto de campo eléctrico en el bachillerato, al referirse a este como un tema que: "tiene muchas aplicaciones, tiene pues, analogías en la naturaleza, cosas que ellos ya han como entendido, que tiene como concepto anterior, creo yo, porque no sé qué habrá hecho el profesor anterior" [51-ENT]. Consecuentemente, supone que "… lo de la carga ellos [los estudiantes] tendrán la analogía de que es algo parecido a la gravedad o que una carga atrae otra carga o repele otra carga, ¿sí?", o "… por ejemplo, cómo puede ocasionar un rayo, o sea, por qué un pararrayos atrae un rayo, ¿sí?" [51-ENT]. Es decir, que es a través de la analogía carga-gravedad (entendida como posibilidad de atracción) como se podrían comprender las aplicaciones y la importancia del campo eléctrico, pero para ello se debe saber el concepto de gravedad. Así, en el transcurso de las clases se pueden utilizar las ideas de los estudiantes y en especial la idea de gravedad, que se supone ya ha sido estudiada el año anterior. Esta situación también se corrobora cuando él propone que las ideas de los estudiantes se confrontan y se moldean, porque en últimas, aunque los estudiantes confronten sus ideas, Daniel está en la clase para guiar los pensamientos e ir haciendo los ajustes necesarios, en especial obedeciendo una lógica formal usual: la de la perspectiva lineal de enseñar.

**Tabla 19.** Síntesis fase declarativa para el componente Ideas de los Estudiantes

| Nivel | Nivel I (no reflexivo) | Nivel II (reflexivo lógico) | Nivel III (innovador) | Nivel IV (reflexivo integrador) |
|---|---|---|---|---|
| **Encuesta [ENC]** | n. a. | Las ideas de los estudiantes son para guiarlas. Los estudiantes deben tener conocimientos previos sobre vectores.<br>Las ideas de los estudiantes se cuestionan. | n. a. | n. a. |
| **Entrevista [ENT]** | n. a. | Las ideas de los estudiantes son para moldearlas. Los estudiantes deben tener conocimientos previos o elementales. Existe un sentido de las ideas de los estudiantes: la posibilidad de guiarlas. | Los estudiantes tienen ideas previas. | n. a. |
| **Planeación [PA]** | n. a. | n. a. | n. a. | n. a. |

## *Resultados y análisis del componente Actividades*

En este apartado se describe cómo las actividades que el profesor practicante planea desarrollar son variadas, e incluyen el uso de analogías en atención al campo gravitacional, así como las ecuaciones y los ejercicios de lápiz y papel como estrategias de trabajo para aplicar conocimientos. En cuanto al desarrollo de problemas, hay un interés de este por contribuir en la contienda que tienen sus estudiantes con los problemas numéricos, tradicionalmente. Ahora bien, él también propone hacer experimentos que refuerzan y aplican los conocimientos asociados a la electricidad, papel que se puede comparar con los libros de texto, los cuales pueden ser utilizados también como material de consulta. En todas estas actividades se acude a la pregunta como estrategia central para motivar a los estudiantes y valorar sus tareas.

### La pregunta: ¿actividad orientadora?

Las respuesta de Daniel a los casos presentados en la encuesta [ENC] y a los ejercicios de evaluación, permiten comprender que él reconoce una importancia didáctica a las preguntas como actividades de clase. Por ejemplo, las modificaciones a la pregunta sobre las cargas eléctricas sugieren plantear un caso no numérico y preguntar por el campo eléctrico y la fuerza. Con esto distingue el tipo de preguntas que son más pertinentes para sus estudiantes, y con las cuales él podría trabajar en clase. Asimismo, dado que se le solicitó que resolviera primero las preguntas y que luego las complementara como profesor, su proceso de selección no hace explícito un análisis de las relaciones entre campo y fuerza, sino que se sujeta a la ley de Coulomb. Así, puede haber una actitud pasiva para atender este aspecto cuando

asume el rol de profesor que *resuelve problemas*, y una perspectiva más activa o reflexiva cuando toma el papel de *profesor que propone preguntas en la clase*. El profesor practicante espera, entonces, que al preguntar por situaciones hipotéticas de inducción como por ejemplo: "¿qué pasa si ponemos un globo de carga positiva y tenemos un… no sé, frotamos con una lana un tubo, qué pasaría si acercamos el tubo? ¿Cómo se cargaría ese tubo?... " [20-ENT] se pueda provocar el surgimiento de preguntas en los estudiantes sobre el campo eléctrico. Además, espera que los estudiantes "... dirán que se puede cargar positiva o negativamente". Así, aun cuando se pregunta por los efectos, también se pregunta por la forma en que queda cargado uno de los cuerpos. Esta pregunta como estrategia orientadora tendría entonces un sesgo de lo que Cañal (2000) señala como "actividades dirigidas a expresar información elaborada por los alumnos (resultados): en donde se requiere considerar la expresión oral, escrita, por medios audiovisuales y por otras vías" (p. 222).

Esta intención declarativa de centrar su trabajo en la carga eléctrica se puede apreciar cuando considera que a los estudiantes "posiblemente" les inquietaría saber los efectos sobre el tubo fundamentándose en la dualidad carga positiva-carga negativa, y eventualmente abordarla en un experimento en que se "tendría que investigar qué hace la lana para cargar el tubo". Sin embargo no se explicita si la idea de campo eléctrico como tal se articula a la pregunta motivadora, más aún porque Daniel supone que "ahí en el momento, pues no", y más bien considera que para llegar allí, primero deben hacer un laboratorio estilo "museo" donde "… cada uno traiga sus experimentos, ahí de pronto se van a dar cuenta con preguntas que ellos mismo se hagan; entonces ellos van a hacer las preguntas sobre cada experimento que ellos planeen"; y luego de esto vendría el trabajo con electroscopio en un sentido verificador, pues este se haría "para ver si entendieron algo de lo que ellos hicieron, que es parecido a lo mismo que van a hacer ellos" [28-ENT]. Así la perspectiva del profesor practicante con la formulación de preguntas se podría ubicar tangencialmente con la "perspectiva cualitativa" de Martín y Solbes (2001), que tiene la pretensión de involucrar a los estudiantes en contextos reales y simples.

### Solución de problemas

En relación con la pregunta: ¿Por qué crees que es importante que los muchachos solucionen problemas?

> O sea, dependiendo el tipo de problemas, o sea yo en mi carrera que yo pienso hacer porque uno en el transcurso no lo hace, uno lo hace al comienzo, pero después uno lo va descuidando y no lo hace; pues las preguntas que yo le digo, o sea, unos problemas que sean abiertos y que ellos respondan y ataquen desde varios puntos de vista; pero ahora se dan cuenta que son problemas de números y que solo con que respondan está contento el profesor, entonces mi forma de pensar es que esto no debe ser así porque no demuestra el conocimiento del alumno, lo que demuestra es solo un manejo de números y no un manejo de conceptos que es lo que uno quiere que aprendan [30-ENT].

La solución de problemas abiertos —tanto para abordarlos como para solucionarlos de manera flexible— los considera como los más coherentes, en especial como resultado de la reflexión sobre sus vivencias como estudiante en la universidad con este tipo de actividades al manifestar que "en mi carrera… en el transcurso uno no lo hace, uno lo hace al comienzo, pero después uno lo va descuidando y no lo hace". Al parecer, el carácter principal que tendrían este tipo de problemas es de permitir un manejo conceptual de la física en lugar de uno netamente matemático, dado que las actividades usuales del aula, que se han dado en la práctica docente, son "problemas de números y que solo con que respondan está contento el profesor, entonces mi forma de pensar es que esto no debe ser así porque no demuestra el conocimiento del alumno". En este proceso, es importante para Daniel brindar a los estudiantes "unos problemas que sean abiertos y que ellos respondan y 'ataquen desde varios puntos de vista'" a la manera de una contienda entre el estudiante y el ejercicio. De esta manera Daniel revela una intención constructivista en el sentido planteado por Martín y Solbes (2001) en que las actividades involucrarían la "formulación y resolución de problemas abiertos".

### Lápiz y papel

La alternativa de manejo de los problemas de lápiz y papel —asignados por el tutor del profesor practicante— consiste en ayudar a los estudiantes a considerar el rol de la fórmula y de los algoritmos como si fuera una especie de lucha; aquí aplicaría la *metáfora de la contienda entre el estudiante y los ejercicios de lápiz y papel*, en los cuales "los números" parecen ser los representantes de los ejercicios, y la autoestima, la autoconfianza y autocredibilidad representan a los estudiantes. Así, él considera que su papel en esta lucha es darles a los estudiantes "tips para que hagan los problemas, o sea, lo que comúnmente son las fórmulas y 'que no se dejen ganar' de los números; es lo primero que les digo, 'usted maneja los números'" [49-ENT].

Esta mirada algo animista de la interacción con el conocimiento físico asociado a los procesos de solución de ejercicios se puede relacionar con el enfoque realista comprobatorio asignado a las prácticas experimentales. Así, proponer que los estudiantes "desde su punto de vista enfoquen a la pregunta, que ataquen la pregunta" resulta ser una estrategia de la contienda en la que se debe involucrar una o un grupo de "fórmulas matemáticas" como herramientas o armas que tiene el estudiante en su batalla con los números. Dado que Daniel propone animar a sus estudiantes a "[…] que sigan, que traten de mirar opciones de manejar esos números y que vean como manejan esas fórmulas […]" [49-ENT] como consigna de batalla, también se destaca su interés por distinguir entre ejercicios de "números" y "[…] los ejercicios que no sean de fórmulas, o sea, que expliquen". Un aspecto interesante aquí, es que Daniel reconoce la importancia de estimular o animar a sus estudiantes a no abandonar sus primeras aproximaciones cuando se enfrentan a los problemas, y reconoce que a los

estudiantes hay que decirles que "no crean que lo que está diciendo es mal por todo lo que dice el profesor…" [49-ENT], siendo esto una actividad propia de él en clase que, en últimas, consiste en un empoderamiento de la autoestima intelectual que debe tener todo estudiante.

Llama la atención que estas actividades asociadas a la forma de afrontar los problemas de lápiz y papel, son ubicadas por Daniel en la planeación de la siguiente forma:

"Experimento de generador de Van de Graaff y ejercicios" [8-PA].

"Socialización del experimento y ejercicios" [9-PA].

De manera que los "ejercicios" así como la "lucha con los números" involucran la validación de un enfoque aplicativo de los conocimientos que sobre el campo eléctrico tengan los estudiantes, aun cuando no necesariamente desde una perspectiva de situaciones nuevas (Pro y Saura, 2000). Sin embargo dado el carácter específico de los ejercicios a los que hace referencia Daniel, esta actividad tiene que ver con "el razonamiento cuantitativo" al que hace referencia Etkina (2010) dado que propone llevar a cabo procesos de simplificación y representación física y matemática en la evaluación de situaciones.

### Uso de libros de texto

En la entrevista:

> Pues yo he consultado dos libros, pues uno de once que es el *Investiguemos* y uno universitario que era de conceptos, *Física conceptual* de Hewitt. Entonces yo lo tenía ahí y pues es bueno tomar este libro y pues de internet baje algunas vainas, pues para reforzar porque como a mí me interesan más los conceptos que ellos puedan aprender entonces yo le puse, yo tomé más enfocado al libro [32-ENT].

> En el *Investiguemos* ese no, yo vi diez problemas que eran de solución numérica; para encontrar problemas como los que yo quiero es complicado, muy complicado, porque yo estuve tratando de investigar en internet y no encontré, encontré uno parecido al que el profe me envió y no más, de resto todos son como del mismo estilo. Entonces yo en mi carrera quiero plantear o yo plantear desde mi punto de vista algunos ejercicios; que diga esto va encaminado a lo que yo quiero. Primero es enfocar el problema, para poder realizar los ejercicios, si no, no los hago, no los puedo hacer. Que más le digo… pues… ah, en el conceptual más que ejercicios, son experimentos; como dos o tres experimentos que uno puede realizar, yo tome el del electroscopio porque me parece importante y nosotros lo realizamos, y el de Van de Graaff, por que como aquí hay un generador de Van de Graaff, para que aquí ellos piensen que miren como funciona eso y no le tengan miedo a la corriente, ah, no, voltaje; a la corriente si hay que tenerle miedo (risas) [34-ENT].

Daniel asocia como actividad de enseñanza el uso de los libros de texto en términos de complementariedad de los fundamentos teóricos, más que todo de corte

conceptual, por eso escoge sus libros y la internet principalmente "… para reforzar…" [32-ENT], dado que le "… interesan más los conceptos que ellos puedan aprender…" [34-ENT]. Se supone entonces que el papel del libro en su planeación y sus clases sería el de ayudar a reforzar conceptos, aun cuando para Daniel ha sido difícil conseguir aporte concreto a este nivel. Por tanto, si el libro de texto se consulta como fuente de problemas para la enseñanza, al parecer ningún libro serviría, pues el criterio "conceptual" no se desarrolla de forma completa de acuerdo con sus intereses, sin embargo algunos de estos sirven para replicar dos experiencias concretas: la inducción con el electroscopio [5-PA] y el experimento con el generador de Van de Graaff (GVDG) [34-ENT] [8-PA].

En este sentido, Daniel manifiesta una especie de prevención frente al uso de los libros de texto por no coincidir con sus intereses de enseñanza, aspecto que podría estar asociado a la caracterización de los libros de texto hecha en el capítulo 1 del presente informe y que se sintetiza en las tablas 7 y 8, en la cual se encuentra que ofrecen ejercicios de lápiz y papel de tipo cerrado con única respuesta.

### La experimentación: De la teoría a la práctica

De la entrevista:

> I.: —¿Cuál es la importancia de la experimentación cuando uno va a enseñar electricidad y campo eléctrico?
>
> D: —Pues como ya me han enfocado acá en el colegio en la experimentación, y yo me estoy enfocando ya en experimentación. Más que realicen un experimento es que lo entiendan, que entiendan que es lo que hay en cada experimento, ¿sí? O sea, que … con base en lo que se ha dado en las clases y en los ejercicios propuestos, que ellos vean lo que sea hecho en clase, ¿sí? O sea, que lo vean visualmente, o sea que utilicen el modelo visual, ¿sí? Que toquen… que jueguen con eso, más que de una manera rigurosa que se pongan a hacer el experimento paso por paso, ¿sí? O sea, que ellos digan, si yo hago tal vaina, ¿qué pasa? Que no hagamos lo mismo que nos plantea el profesor, sino que miremos otras opciones; que ya me ha sucedido acá que lo han hecho, entonces les puedo dejar el que voy a poner como museo un laboratorio libre, que traiga cada uno su laboratorio de carga y a que se exponga como museo que cada uno exponga cada cosa, entonces uno va pasando por cada grupo, pues esa sería una manera… la otra es… ah, las guías de laboratorio que uno deja, pues ponerles preguntas abiertas, concisas, que ellos respondan de una manera que ellos crean no que respondan de la manera que el profesor crea [36-ENT].

En Daniel la idea de experimentar se encuentra asociada a la de comprender; el fin del experimento no es jugar sin comprender. Se supone que este proceso de comprensión deviene de sesiones teóricas previas pues "[…] con base en lo que

se ha dado en las clases y en los ejercicios propuestos", el propósito es que los estudiantes "[…] vean lo que se ha hecho en clase […]" [36-ENT]. En este sentido la experimentación en la clase tiene un matiz de comprobación de la teoría, aspecto que se profundizará más adelante, pero que es importante ir señalando. No obstante también para él llevar a cabo experimentos implica que los estudiantes jueguen y alteren formas de hacer la práctica experimental tradicional, en procura de que "… digan: si yo hago tal vaina ¿qué pasa? Que no hagamos lo mismo que nos plantea el profesor, sino que miremos otras opciones" [36-ENT] desde un enfoque que cuestiona el seguir instrucciones, pero que en últimas debe servir para explicar lo que se hace, explicación que estaría sujeta a la teoría, puesto que también considera que experimentar en el aula tiene diversas utilidades:

> Ah pues, lo que yo quisiera es que ellos reforzaran los conceptos, más que ellos realicen experimentos rigurosamente; sino que refuercen esos conceptos con el experimento y como ellos tiene esa filosofía de hasta no ver no creer entonces uno tiene que impactarlos con algo que se vea, si más de un modelo que impacte y que les cause curiosidad y miren por esos lados [42-ENT].

Así, "reforzar conceptos", "impactarlos con algo que se vea", causar "curiosidad", tienen como propósito altruista generar inquietud, pero esto coadyuva a una intención más grande que es la de verificar el aprendizaje de la teoría, aspecto que Daniel confirma al comentar:

> Pues la conclusión que yo quisiera que ellos tuvieran es que lo que nosotros hacemos en clase se ve reflejado en la naturaleza y en esos fenómenos y no solo es algo fantástico y nada más, sino que en diversos fenómenos eso se ve y en el laboratorio se ven con los materiales que uno pone [42-ENT].

Porque los estudiantes tienen que ver lo que se hace en clase. Así las cosas, el laboratorio resulta ser el juez que decide el carácter de verdad de la teoría, y el criterio más importante es la coincidencia entre esta y la naturaleza. En este sentido, Perafán (2004) destaca cómo la "metáfora de la mirada" en profesores de Física en ejercicio resulta fundamental a la hora de la experimentación en la clase, aspecto que deviene de una perspectiva epistemológica del conocimiento del docente.

> Pues primero que todo es que si uno les bota como el experimento pues ahí va el orden, lo que uno dice orden, porque se dice que el orden sería: clase magistral, ejercicios y laboratorios, para algunas personas. Para otras personas sería: laboratorio, pero es que a mi consideración mandar los laboratorios de comienzo sería una buena idea, pero ellos no tendrían bases de donde reforzar lo que ellos están haciendo, ah, sería bueno trabajar todo a la par, pero todo a la par no se puede, entonces por eso fue que yo lo hice como en tres partecitas, ejercicios, laboratorios y clase magistral. Pero yo empiezo con clase magistral para darles bases para que ellos se sostengan en lo experimental [129-ENT]. "

Por tanto, las actividades y tareas están asociadas a una idea tradicional de la enseñanza en que primero se brinda información teórica, es decir que el orden más adecuado para Daniel es: "clase magistral, ejercicios y laboratorios… con la clase magistral para darles bases para que ellos se sostengan en lo experimental"." Se hacen ejercicios de lápiz y papel para luego pasar al trabajo en el laboratorio. En cierto sentido Daniel es coherente con su idea de primero "dar" lo "elemental" para que se puedan generar las actividades. Así, el laboratorio siempre deberá venir después de la teoría. Ahora bien, dado que la organización y secuenciación de actividades tiene estrecha relación con el modelo de aprendizaje que el profesor tenga, para el caso de Daniel la idea de plantear primero actividades centradas en su discurso y luego actividades experimentales de comprobación, revelan su enfoque pedagógico transmisivo (el profesor es emisor de información y el estudiante es receptor pasivo de esta) con actividades que muestren acciones repetitivas no reflexionadas, lecturas y desarrollo memorístico inconexo, explicaciones de los estudiantes sobre temas anteriormente informados, y "experiencias de tipo demostrativo" (Sanmartí, 2000, p. 255).

Como refuerzo a este enfoque transmisivo podemos tomar también la referencia de la ubicación secuencial de la experimentación en la planeación de Daniel, que aparece como tercer objetivo [1-PA], y los experimentos una vez se han abordado los temas de carga eléctrica [5-PA] y campo eléctrico [8-PA].

*Informar la teoría: Actividad transmisionista*

Para el caso concreto de la enseñanza de la ley de Coulomb, Daniel considera que la idea de fuerza se hace fundamental como concepto teórico asociado a la ecuación de esta ley, y planea generar un ambiente donde los estudiantes no tengan preocupaciones por las ecuaciones asociadas. Sin embargo la actividad que propone tiene un sesgo más bien explicativo, en el que su papel sería el de disminuir las tensiones de los estudiantes con los ejercicios, dotándolos de explicaciones. Así que argumenta:

> [...] simple que sería la que se utiliza acá. Si fuera todo lo que vimos en la universidad ellos se van a embolatar. Entonces les voy a decir, "no se preocupen de ecuaciones, las ecuaciones, las fórmulas son tal y tal" y eso refleja el concepto como tal o sea 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. Si líneas de […] bueno, son inversamente proporcionales al radio al cuadrado. Por eso lo que le decía de las líneas de campo. Bueno lo de las fuerzas sería otra ¿Qué más será? ¡Ah!, y bueno, ponerles ejercicios con un campo eléctrico y un, cómo serían las fuerzas así, tipos de fuerzas y todo eso [273-ENT].

En estas actividades que Daniel propone se encuentra que no le atribuye a la ley de Coulomb un sentido de representación de las relaciones entre el E, Q y r, y más bien relativiza la complejidad de esta al asignarle al concepto de fuerza un poder

explicativo mayor que la fórmula misma. La ley de Coulomb adquiere relevancia para Daniel en cuanto reafirma la visión de acción a distancia y la analogía con el campo gravitacional y con el campo eléctrico, lo que implica preguntarse si para Daniel el campo eléctrico es como la ley de Coulomb.

La planeación de la actividad de clase es de corte informativo, propone dar explicaciones de los conceptos, las ecuaciones, las fórmulas. En particular una de sus propuestas para mostrar cómo explicaría a los estudiantes la intensidad de campo eléctrico en un punto del espacio consiste en:

> Tenemos dos cargas: la carga que está quieta y la otra la que se acerca, pues tenemos la carga acá vamos a tener un número de líneas. Si usted acerca las líneas, acerca las cargas, las líneas se van a ver más pegadas. Eso es porque hay mayor intensidad de campo. Entonces lo que le digo hay ya es referencia, como son inversamente proporcionales al radio, ¿sí? Que lo vemos acá entonces es por eso la intensidad de energía… campo eléctrico es inversamente proporcional al radio al cuadrado. Entonces va en eso sí, cuando usted acerca el eso se van a ver más abultadas cuando usted lo aleja se van a ver la líneas más separadas [109-ENT].

Con esto pretende aclarar la idea de intensidad de campo eléctrico asociada a la disminución de la distancia entre las líneas de fuerza y la distancia entre las cargas eléctricas, pero el referente fundamental aquí es la ecuación de campo eléctrico para una carga puntual, sin distinguir la intensidad de campo con respecto a la fuerza como acción a distancia; aspecto que se ve reforzado cuando Daniel termina diciendo que "entonces lo que le digo ahí ya es referencia, como son inversamente proporcionales al radio, ¿sí? Que lo vemos acá entonces es por eso la intensidad de energía… campo eléctrico es inversamente proporcional al radio al cuadrado" [109-ENT].

*Los "laboratorios": mecanismos de comprobación*

En referencia principalmente a llevar a cabo una práctica de laboratorio estilo "museo" en la que los estudiantes llevan sus propuestas y las comparten, Daniel tiene pensado organizar "… el museo creado por ellos y laboratorios, coger materiales que tienen acá [en el colegio] como el electroscopio y lo de GVDG para que ellos entiendan más o menos para que sirve eso" [133-ENT]. La utilidad que le da a esta práctica está mediada por la intención de combatir el aburrimiento de los estudiantes, al parecer considera que las prácticas usuales son aburridas pues los estudiantes no se mueven, en cambio en su propuesta la intención es "[…] que ellos no se aburran primero que todo, que ellos vayan caminando, pues ese es el mismo fenómeno de acá, pero acá lo entiendo más que allá" [135-ENT]. En este sentido él posiciona la práctica de laboratorio como espacio para poner en común saberes, entendido como un momento en el cual los estudiantes comparten lo que han indagado y preguntan a los demás en consecuencia, es decir, en que los estudiantes, cuando

"[…] estén caminando y no se la pasen ahí sentados" [135-ENT] puedan percibir algo diferente ya que esto "[…] no tiene nada de innovador pero al menos para que a ellos les pueda agradar". Se puede identificar, por el momento, que Daniel le asigna a esta situación posibilidades de desarrollar también actitudes hacia el trabajo compartido en sus estudiantes [135-ENT].

La idea de "museo" consiste en que "les planteaba o les iba a decir que cada uno trajera un experimento sobre carga" [137-ENT], de modo que "cada grupo va a tener una pregunta, entonces con eso ya vemos en qué encamina cada grupo su modelo" [139-ENT]. En este proceso, Daniel no considera tener algunas preguntas previas [141-ENT] sino más bien que "[…] ellos mismos van a hacer las preguntas sobre cada experimento que ellos planteen […] Las preguntas se las haría para electroscopio, pero eso ya es otro momento" [141-ENT]. La organización de la práctica considera la distribución por mesas de trabajo a los estudiantes en donde "… en cada mesa se sitúa un experimento, entonces se les dice aquí va a quedar un expositor del tema. Les va hacer las preguntas a los muchachos, el expositor, lo demás van rotando entonces van cambiando los expositores también" [149-ENT]. Aquí se valida la puesta en común de lo que los estudiantes traen, vía explicación del expositor. Esta propuesta, a su juicio, se parece a un museo, es decir, que "… la imagen que uno tiene de un museo que vayan mirando y ellos vayan viendo qué es lo que pasa en cada vaina, ¿sí? O sea, no es solo quedarse quieto y ya, sino que vayan rotando" [149-ENT]. Cabe preguntarse aquí, entonces, ¿qué entiende Daniel por experimento?

Paralelamente al trabajo del museo Daniel planea un laboratorio con el electroscopio, para trabajar con "… diferentes materiales, tubo, vidrio. Vamos a frotar con diferentes paños, paño normal, paño de lana, eso" [153-ENT], Estos materiales usualmente se asocian a este tipo de práctica. Ahora bien, las preguntas que piensa formular a los estudiantes se centran en el tiempo de carga de las hojas del electroscopio, por ello enfatiza en mirar "¿cuál demora más y cuál creen que demora más?, y ¿qué creen que pasaría? pues con las partes de abajo del electroscopio" [153-ENT]. En este sentido se indaga por los efectos del concepto de carga eléctrica ya que la práctica del electroscopio se organiza "[…] para que ellos miraran que todo tiene carga y que al inducir bueno por frotación […] se carga algo más, o sea, al inducir al electroscopio hay otro tipo de carga, o sea, las cargas y los tipos cargas que pueden haber" [153-ENT]. Con esto el electroscopio se toma como instrumento para reafirmar la idea de carga eléctrica en un sentido general de que todo cuerpo tiene carga eléctrica, y cómo estas cargas eléctricas se podrían transferir de un cuerpo a otro, es decir, "[…] cómo estas cargas pasarían a los puntos, siendo este último aspecto relevante en el análisis que sus estudiantes deberán hacer" [153-ENT].

Por otro lado, cuando se inquiere a Daniel por la relación de su propuesta de experimentación con el concepto de campo eléctrico, su planteamiento induce a considerar que el electroscopio es adecuado para la enseñanza de la carga eléctrica [193-ENT], ya que "[…] para analizar el campo eléctrico [se] necesita el concepto como tal" [161-ENT] de manera que un experimento con campo eléctrico requeriría otra situación "con una fuerza, entonces eso ya es como para el inicio, o sea la introducción de qué es el campo eléctrico" [161-ENT]. Al respecto, él considera que va a usar el GVDG "…] para que ellos vieran a grandes rasgos lo de campo eléctrico" [193-ENT] y prefigura algunas situaciones como la de generar un "rayo dependiendo de la distancia, entonces ahí vamos a ver que ahí hay un campo eléctrico" [193-ENT]. La actividad concreta de generar lo que se conoce como "la chispa" (que Daniel denomina "rayo"), se pretende explicar como un proceso asociado a la idea de energía. En efecto, Daniel considera en primer lugar que hay que tener claro el proceso de carga del generador para luego considerar que, la razón por la cual se genera la chispa, se fundamenta en la redistribución de la carga, producto del acercamiento de un objeto cargado a la parte superior del generador. Es en últimas un proceso en que "… se atraen…, si, van a tratar de redistribuir la carga acá, ¡eso! lo que está tratando es de redistribuir la carga acá" [199-ENT]. En otras palabras, "este rayo se debe a que todas las cargas no están distribuidas bien y van a tratarse de repeler, pero cuando ya, ¡ah!, ¡no!, atraer, digo" [199-ENT].

De forma complementaria también propone otra situación para reflexionar acerca del campo eléctrico, específicamente cuando se acerca otro tipo de objeto al generador, como por ejemplo*:* "[…] vamos a ver, si ponemos una vela, entonces vamos a ver que esta tiene un campo eléctrico" [201-ENT], aspecto que resulta interesante por cuanto le atribuye a la llama de la vela la propiedad de "tener" o generar un campo eléctrico, y no lo hace así con la cúpula del generador. La explicación que usualmente se da al fenómeno de mover la llama de la vela, e incluso apagarla, está asociada al denominado viento electrostático producido por la ionización del aire. Pero Daniel considera que "cuando la vela se curva esa, vamos a ver que van a tener igual carga… entonces vamos a ver que las líneas de campo van a seguirse […] vamos a suponer que las líneas de campo se están curvando así gracias a que la vela está ahí" [201-ENT].

Configura, entonces, la explicación de la chispa desde un enfoque nominalista, al mismo tiempo que esta explicación adquiere un sentido completamente difuso, ya que se alude aquí a la idea de trabajo y de energía para explicar el proceso de carga del generador, pero no se evidencia consistencia en la explicación del proceso en ninguno de estos conceptos. Ahora bien, la chispa o "rayo" se explica como un efecto de la no distribución adecuada de las cargas eléctricas en el objeto que se acerca al generador y como un fenómeno de compensación frente a la distribución inadecuada de cargas eléctricas, en el entendido del proceso de carga por inducción, que aquí se

asocia a la polarización en el objeto que se acerca, es decir, que "[…] se distribuyen las cargas negativas a un lado y las cargas negativas a otro lado, o sea, que queden organizadas de una manera" [203-ENT]. En este sentido, Daniel acude a la analogía con el pararrayos aduciendo que en este fenómeno "[…] hay un choque ahí… sería como un choque en el GVDG, como sería en las nubes, entonces sale el rayo, es atraído por… esfera pequeña, entonces lo que está haciendo es atrayendo el potencial que le metimos, bueno potencial no" [209-ENT]. Hasta aquí, las explicaciones sobre la producción del rayo, la chispa, no necesariamente consideran el papel del medio o explícitamente la idea de campo eléctrico. Sin embargo algo constante aquí es la idea de atracción, es decir, que "[…] sería una atracción del rayo, ya sea que este rayo se genere gracias a que le metimos un voltaje, un trabajo, si un voltaje, una energía" [209-ENT].

Ahora bien, dado que se le pregunta al profesor practicante si este laboratorio lo piensa hacer en condiciones normales de humedad del aire existente, Daniel procura reflexionar acerca de la diferencia de la situación si esta fuera en el vacío, en especial supone "[…] que la chispa también se debe por el contacto con las partículas del aire" [217-ENT] y, en este sentido, si el experimento se hace en el vacío, no habría chispa, puesto que "se producirá más bien una atracción-repulsión" [219-ENT], pero dado que la experiencia tiene lugar en el salón de clase el aire desempeña un papel importante en la producción de la chispa y en este sentido "[…] ahí se sabe si es un campo de repulsión o campo de eso porque si el aire va a tener partículas entonces van a tener cargas, van a tener pequeñas cargas y lo mismo el objeto va a tener pequeñas cargas entonces va a haber un campo eléctrico… porque el campo eléctrico es generado por una carga" [221, 223-ENT]. Para él 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 con el 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, se hace necesaria la presencia de tales "partículas" cargadas eléctricamente para que haya campo eléctrico. Por tanto, cuando Daniel es inquirido por características específicas de las condiciones de un experimento en la clase de Física, sus reflexiones evidencian la búsqueda por la fundamentación conceptual coherente para evidenciar el fenómeno. Sin embargo ha declarado también que primero hay que darles a los estudiantes la teoría, los conceptos, y luego si ir a experimentar, a aplicar lo aprendido, es decir, al ponerse en situación de desarrollo experimental él mismo reflexiona sobre los factores ambientales que producen o no la chispa, lo cual no necesariamente atiende la lógica lineal causal que él mismo declaró que obliga a experimentar solamente hasta cuando se dominen los conceptos teóricos.

### Contenidos procedimentales y actitudinales

La idea de motivación también se asocia con las actividades procedimentales con la generación de situaciones que permitan aflorar la curiosidad, aspecto que, aunque se reconoce complicado, se puede desarrollar mediante la experimentación. Daniel considera que si los estudiantes preguntan por lo que sucede, por el fenómeno, este es un gran indicio de curiosidad, de manera que cuando se les enseña algo debe procurarse el desarrollo de la conciencia de lo que están aprendiendo, es decir, que "[…] tengan en cuenta que en el transcurso tiene que aprender algo, tienen que tener en cuenta que solo lo que se está viendo no es por ver, sino para mirar qué es lo que pasa en realidad" [47-ENT]. La motivación se plantea asociada al desarrollo empático de las relaciones con los estudiantes, se revela aquí una visión de profesor que se construye cuando la única motivación es la evaluación, la del profesor callado. En este caso Daniel concibe que el profesor es quien "guía" a los estudiantes, es decir, "[…] el que les dice, pues hagan tal vaina, hagan tal otra, si no entienden algo pues me dicen, es como el "amigo" porque eso no se puede, si, ser como el 'confidente' […]" [45-ENT] en contraposición con la idea de profesor que se aleja del estudiante, no dice nada y además "da la mala nota", lo cual denomina Daniel como un proceso de manipulación.

### Usando la analogía con el campo gravitacional

Daniel manifiesta acuerdo con el uso de la analogía del campo gravitacional con el campo eléctrico considerándolo desde una perspectiva de conocimiento previo de los estudiantes. Así, se asume también una mirada acumulativa de esta actividad o estrategia didáctica, ya que se supone que el haber visto el campo gravitacional hará más fácil la comprensión de campo eléctrico. Esta perspectiva se denomina acumulativa en el sentido de poder utilizar conocimientos que se han adquirido previamente en la escuela; así tal como lo hace una persona que acumula capital económico que eventualmente utiliza para ciertos fines, él reitera la utilización de la idea de campo gravitacional para explicar el campo eléctrico. En este sentido es una especie de capital cultural de orden académico que Daniel considera deben tener los estudiantes así como el como profesor de Física. Al respecto Furió y Guisasola (1997) señalan que

> Una presentación acumulativa acrítica de los contenidos está caracterizada por una exposición lineal de conceptos que componen el modelo teórico actual de la electricidad, de forma que no se tienen en cuenta los saltos cualitativos ni los problemas que dieron lugar a nuevos conceptos de mayor poder explicativo. Así pues, existirá una introducción del concepto de campo eléctrico aproblemática y, por tanto, arbitraria (p. 293).

Daniel plantea la analogía del campo eléctrico con el campo gravitacional cuando expresa que va a utilizar la idea de "atracción", y propone comenzar preguntándoles

a los estudiantes "[…] ¿qué piensan de campo gravitacional?" [65-ENT], y así asociarlo con la idea de fuerza ya que, al mostrarles un objeto "[…] les diría ¿esto tiene alguna fuerza? ¿cierto?" [65-ENT], con lo cual supone que la respuesta deberá estar asociada al campo gravitacional pues planea decirles que "en el campo eléctrico es exactamente lo mismo, solo es con cosas que usted al ojo humano no puede ver" [65-ENT]. Una vez garantice que la comparación es válida considera importante pasar a destacar que en el caso del campo eléctrico "… son partículas pequeñas que se atraen o se repelen, según sea, o sea, no solo es la tracción, también puede excitar una fuerza de repulsión, eso se ve en más cargas" [65-ENT], decidiendo que con esto ya tendría abonado el terreno del fenómeno particular, pues con la idea de carga se puede continuar con "... entonces empezar a decir, líneas de campo son dadas así, entonces les voy a poner situaciones diferentes de placas paralelas" [65-ENT]. Aquí él le imprime una especial importancia al momento de la explicación del campo eléctrico en relación con la idea de carga eléctrica, haciendo énfasis en el mundo de lo invisible.

Consecuentemente, Daniel planea poner una situación en discusión con sus estudiantes, que consiste en analizar paralelamente el comportamiento de un electrón dentro de un arreglo en placas paralelas de campo eléctrico, con el de una pelota que se tira en el campo gravitacional terrestre, con esto pretende explicar que para este último caso "[…] lo que hace el campo gravitacional es cogerla o sea tratar de que caiga" y que para el primer caso "[…] entonces el campo eléctrico es lo mismo, tratar de atraerlo o repelerlo en el caso de arriba" [65-ENT].

Es posible, entonces, comprender el campo eléctrico considerando una perspectiva de corte animista y asumiendo implícitamente la acción a distancia. Las actividades asociadas a la analogía pretenden brindar información y solicitar comparación de comportamientos posibles de una carga eléctrica en un campo eléctrico y una masa en un campo gravitacional, constituyéndose así la analogía como una actividad que acude a la imaginación en el aula, y que además tiene limitaciones que comienzan con la comparación entre la interacción entre cargas eléctricas frente a la interacción entre masas. Se aclara aquí la naturaleza de los objetos que interactúan indicando las posibilidades de una o de otra; en el caso gravitacional se pone a *la visión* como evidencia de los cuerpos en interacción, y en el caso eléctrico se asume que por ser un problema de magnitud, las cargas eléctricas son "[…] cosas que usted no alcanza a ver" [117-ENT], es decir, que su conocimiento tiene un alto contenido de acto de fe. En este proceso se asocia también una diferencia (aun cuando Daniel no explica por qué sería limitación): la de la posibilidad de atracción (para el campo gravitacional) y de atracción-repulsión (para el campo eléctrico).

Ahora bien, la explicación de Daniel sobre las limitaciones de la analogía entre campos deja a un lado cuestiones asociadas con la concepción de campo como tal, ya sea como alteración del espacio, generación de nuevas condiciones de este,

interconvertibilidad del espacio u otro tipo de interpretaciones, esto no se ve como limitaciones. En otras palabras, la idea de campo sirve para las dos situaciones, pero no se explicita. Se observa, entonces, que la mirada de las limitaciones del recurso analógico están mediadas por una idea de interacción a distancia ya que "[…] como se trabaja lo de las fuerzas, va a ser casi lo mismo" [117-ENT], dejando a un lado las condiciones del medio. Asimismo, el énfasis manifiesto en el orden de magnitud (en referencia a lo que no se puede ver) asigna al campo gravitacional un lugar en el mundo de lo macroscópico visible pues "[…] va a ser a grandes escalas, entonces esa sería una diferencia clara y que se marcaría para que ellos encontraran la diferencia entre carga y masa" [117-ENT], y por otro lado deja al campo eléctrico en el mundo de lo microscópico y, por lo tanto, invisible.

### Aportes a la hipótesis de progresión

Por último, en relación con la hipótesis de la hipotesis de progresión, para el componente de actividades se observa que:

1. Daniel manifiesta una lógica causalista donde va primero la teoría y luego la experimentación. En este sentido, sus reflexiones sobre la experimentación están mediadas porque los estudiantes deberán primero saber los conceptos para así, al parecer, con estos experimentar. En este sentido, dado que Daniel considera las actividades experimentales se ubica en un nivel II, reflexivo lógico, pero cuando planea el *museo,* donde los estudiantes presentan sus ideas, con previa escogencia de los temas que lleva el profesor, Daniel presenta indicios de ubicarse en un nivel III, innovador, porque busca que la experimentación surja de los estudiantes y que además se compartan sus resultados entre ellos, aunque de manera parcial ya que la actividad del "museo" se toma como la práctica experimental en la que los estudiantes muestran el experimento que escogieron y lo explican; si bien tiene un carácter expositivo, los estudiantes se ven involucrados en el desarrollo de habilidades comunicativas en las que, al parecer, expresan lo que entienden.

   Ahora bien, dado que los experimentos son posteriores al tratamiento teórico, usual en los libros de texto, se revela aquí una perspectiva transmisionista sobre el experimento en la clase de física como una actividad de aplicación de teoría. En este sentido, los experimentos también permiten "reforzar" conceptos previamente vistos, lo cual se puede interpretar como una perspectiva de corte lineal-acumulativa. Por lo tanto, cuando Daniel reitera que a los estudiantes hay que "darles un conocimiento", manifiesta su perspectiva pedagógica de corte acumulativo lineal, aspecto que se refuerza al reflexionar sobre su papel como un "guía" y posiciona esta visión reflexiva lógica (y en algunos casos acrítica) que se fundamenta en el conocimiento físico *per se* para la orientación de sus estudiantes. Son ejemplo de ello:

- El experimento con el electroscopio que tiene como objetivo posicionar la idea de carga desde una perspectiva realista, pues "todo tiene carga".
- La actividad con el electroscopio debe preceder a cualquier actividad con el campo eléctrico, ya que aquella aborda la carga eléctrica, la cual debe también preceder a la idea de campo eléctrico.
- La actividad experimental con el GVDG se concibe en el marco de las explicaciones que se pueden dar sobre fenómenos como el rayo, desde una perspectiva atómica de la estructura de la materia, el campo eléctrico de cada partícula cargada en el aire no sirve para explicar la chispa del generador ni el rayo en el cielo, ya que la explicación se basa en la presencia e interacción entre cargas. La carga es la responsable de la chispa, del rayo, y la práctica experimental no es crítica frente al campo eléctrico.

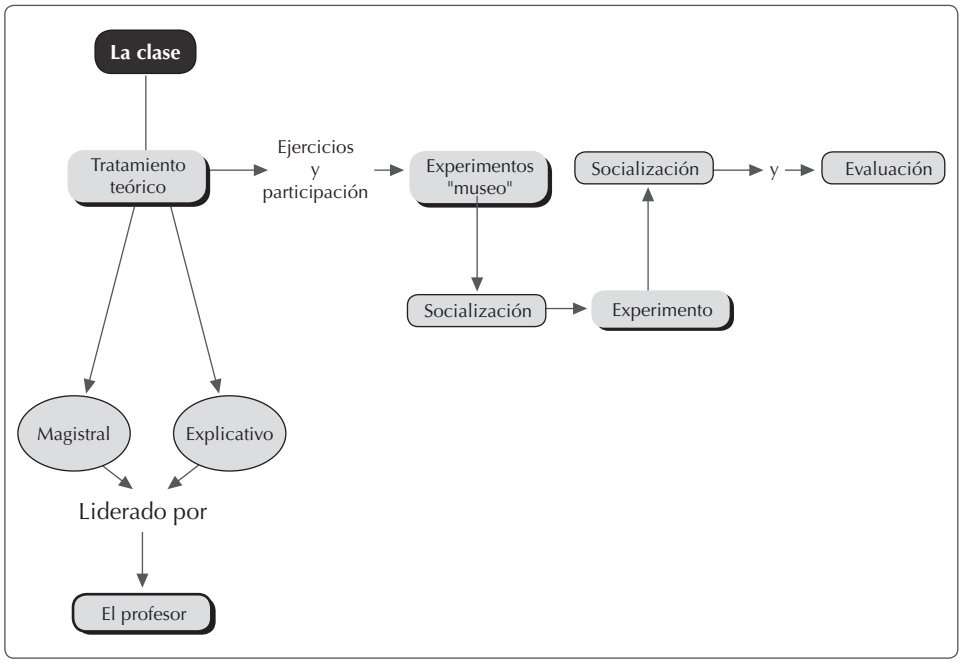
2. Los problemas abiertos que Daniel propone son de nivel II porque solucionar problemas en la clase de Física desde la perspectiva de ejercicios de lápiz y papel se hace desde un enfoque similar a los que aparecen en los libros de texto, y además para ello hay que tener buena fundamentación matemática. Desde este enfoque Daniel supone que *la pelea es con la matemática,* tal como si fuera una contienda en la que todo estudiante debería involucrarse para aprender física. De esta manera, al asumir una postura crítica del uso de los libros de texto desde una perspectiva conceptual, ya que no se especifica qué es lo conceptual, se cree que los estudiantes deberán entonces resolver los ejercicios que el libro les proponga y que el profesor escoja.
3. Dado que para Daniel la actividad de motivación es válida para romper el hielo y generar confianza, y está asociada a la experimentación al procurar despertar la curiosidad, el uso de la analogía usual entre campo gravitacional y campo eléctrico adquiere una connotación muy particular. Por un lado, la analogía del campo gravitacional es completamente válida para Daniel, pues puede ayudarle a comparar la idea de campo eléctrico, ya sea usando los libros de texto o explicándola; por otro lado, las justificaciones de Daniel reafirman su postura realista del campo eléctrico que deviene de una consideración ontológica de la carga, es decir, la carga no es visible, pero sí existe. Aquí Daniel discute con la analogía en sus limitaciones teóricas, pero no en sus implicaciones didácticas.

   En cuanto a las actitudes de los estudiantes en clase, se puede observar que Daniel acude a valorarlas solamente en relación con sus propias actitudes como profesor, es decir, el comportamiento de los estudiantes se deriva de la actitud de Daniel. En este sentido, para él hay que procurar disminuir el estrés y evitar los conflictos; esta es una perspectiva que manifiesta su interés por crear un ambiente adecuado en clase.

4. Para Daniel debe estar primero lo teórico, luego lo experimental y al final la evaluación (ver figura 38).

   En líneas generales Daniel propone la siguiente secuencia [1-10-PA]:

**Figura 38.** Planeación de la clase de Física para Daniel




Por un lado, aquí se atiende a una perspectiva usual de los libros de texto en el trabajo con los contenidos conceptuales. Se considera que en las tres primeras sesiones Daniel expondrá los contenidos y los explicará para luego desarrollar el trabajo experimental que se pondrá en común y se contrastará con un video y un experimento adicional con el GVDG y ejercicios de lápiz y papel (nivel I). Se aprecia que no hay una perspectiva de trabajar la secuencia a partir de los fenómenos o de las aplicaciones o de los problemas o situaciones asociadas a aspectos de la vida o de la tecnología y sus usos en la cotidianidad (nivel II). No hay tampoco una perspectiva de fases en el proceso de desarrollo de la unidad (motivación, desarrollo y conclusiones). Los ejercicios de lápiz y papel son transversales a la propuesta de la unidad, asociados tanto a la parte de contenidos conceptuales al principio, en que se supone que Daniel explicará algunos de estos y los estudiantes procederán a hacer otros, como a la parte experimental en el trabajo con el GVDG. Entonces este es un enfoque tradicional, dado que no cuestiona las visiones epistemológicas subyacentes, en particular las de

corte mecanicista que tienen un peso bastante grande en las explicaciones (no reflexivas) de la interacción eléctrica (Furió y Guisasola, 1993; Galili, 1993, 1995; Nardi, 1994; Bar, Zinn y Rubin, 1997; Sneider y Ohadi, 1998; Cudmani y Fontdevilla, 1989; y Meneses y Caballero, 1995).

5. Se ratifica un enfoque pedagógico transmisionista cuando se trabajan actividades en relación directa con la linealidad de los contenidos conceptuales, al asumir una perspectiva acumulativa que va desde los conceptos de carga eléctrica, pasa por la ley de Coulomb para luego abordar el concepto de campo eléctrico (nivel II). Los contenidos procedimentales estan asociados a la proposición del desarrollo de experimentos "caseros" con la idea de "museo" en donde se exponen y comparten. Esta última parte también se valida en la planeación como un contenido implícito de carácter actitudinal, que aparece en dos momentos de la planeación general y también se encuentra conectado con la experimentación. En este sentido, se valora la producción de los estudiantes desde un enfoque más colaborativo y de puesta al diálogo acerca de la experiencia de laboratorio estilo museo. Contrario a lo que señalan Martín y Solbes (2001) en su propuesta de actividades del "…modelo de enseñanza-aprendizaje basado en ideas constructivistas, que prima aspectos propios de la actividad científica (formulación y resolución de problemas abiertos, emisión y contrastación de hipótesis...)".

6. Daniel sigue en su formato de planeación lo que se denominan estrategias o acciones pedagógicas. En estas considera que el desarrollo de talleres involucra trabajo individual y grupal por parte de los estudiantes. Asimismo menciona cómo se hará (aunque el sujeto no se explicita) una "profundización con explicaciones", al parecer por parte de él, y por último menciona cómo la participación de los estudiantes es otra estrategia así como los laboratorios. Son propuestas generales en las cuales no se especifican características distintivas ni diferenciación de roles en la clase. Se hace interesante que esto lo titula como "Acciones Pedagógicas" en el sentido de que son estrategias que se planea considerar para "lograr la comprensión de los temas" como tales, dirigidas a satisfacer de manera directa los objetivos conceptuales. Contrasta lo intencional del documento de planeación [PA], con lo que se ha venido determinando en la entrevista sobre la visión transmisionista que allí se revela, que se pueden ubicar en lo que Cañal (2000) refiere como "actividades dirigidas a movilizar información" (p. 222).

7. Dado su carácter reflexivo acerca de la pertinencia de las preguntas y su consideración del papel del experimento como "visualizador" (comprobatorio), el CDC de Daniel se caracteriza en el nivel II, principalmente por la coherencia entre lo que se ha determinado en los datos con los indicadores de la hipótesis de progresión (ver tabla 20).

**Tabla 20.** Síntesis fase declarativa para el componente Actividades

| Nivel | Nivel I (no reflexivo) | Nivel II (reflexivo lógico) | Nivel III (innovador) | Nivel IV (reflexivo integrador) |
|---|---|---|---|---|
| **Encuesta [ENC]** | n. a. | Las preguntas permiten orientar a los estudiantes para guiarlos al verdadero conocimiento.<br>Las actividades experimentales van después de la teoría y sirven para "visualizar" y comprobar.<br>Se ratifica la visión acumulativa con la actividad de construir analogías con conocimientos previos (dados). | n. a. | n. a. |
| **Encuesta [ENC]** | n. a. | La secuencia teoría → práctica toma la perspectiva comprobatoria y de orden acumulativo-lineal. Los ejercicios de lápiz y papel sirven para que los estudiantes aprendan a "pelear" con las matemáticas. | Propone el "museo" según los intereses de los estudiantes. Hay que crear ambientes de cero tensiones con los estudiantes. | n. a. |
| **Planeación [PA]** | Las tres primeras sesiones se insertan en transmisión de información. | Se validan actividades experimentales. | El "museo" como propuesta permite a los estudiantes divulgar sus propias experiencias. | n. a. |

## *Resultados y análisis del componente Evaluación*

En este apartado se presenta cómo Daniel declara su intención de valorar los procesos de sus estudiantes y manifiesta una perspectiva de evaluación marcada por juzgar conocimientos conceptuales y algunos procedimentales. El centro de atención de la evaluación, en Daniel, se encuentra en procurar la verificación del cambio de las ideas de los estudiantes, ayudado por el contraste de procesos de solución de problemas y las maneras como se asumen las obligaciones institucionales asociadas a la evaluación.

### Evaluar la participación

Cuando la evaluación no se pretende utilizar como motivación, la especificidad de las estrategias de evaluación se relativiza, pero también se difumina. Es decir, no se concretan ni indicadores ni criterios específicos, surge aquí un aspecto muy general y es el de la *participación* asociada a la práctica experimental. Daniel, entonces, distingue que la evaluación es necesaria, pero no distingue los fundamentos conceptuales de esta.

> Pues lo que yo me estaba pensando hacer, bueno al igual toca hacer una evaluación, pero a ellos pues hacerlos exponer, o sea, hacerles causar curiosidad; cosa que es muy complicado, muy complicado, pues con los laboratorios lo que quiero es prácticamente, que se pongan curiosos, o sea, que se digan, ¿qué paso ahí?, ¿por qué pasa eso? Pues al igual si toca evaluarlos pues no decirles que por la nota hagan tal vaina, sino que ellos tengan en cuenta que en el transcurso tiene que aprender algo, tienen que tener en cuenta que solo lo que se está viendo es por ver, sino para mirar qué es lo que pasa en realidad [47-ENT].

Sin embargo para Daniel la evaluación no debería ser impuesta o por un premio, sino que los estudiantes deberían asumirla como una forma de revisar sus procesos. Nótese que existe una preocupación por considerar aspectos como la curiosidad y la generación de preguntas, elementos que forman parte de la propuesta del grupo PAER (2010) en relación con una de las alternativas de evaluación denominada "Evaluación por análisis de casos límite/especiales".

### Entre lo normativo y la intención formativa

Para Daniel los estándares se encuentran en el plano de lo que tiene el colegio (instituto), pero sus actividades son concebidas desde una perspectiva diferente, por ello no los incluye ni los compara con lo que hace. En lugar de ello propone "hacer ejercicios" (analíticos y de solución matemática) que serían actividades centrales en su trabajo con los estudiantes:

> Ah, pues hasta ahora no he considerado nada de esos estándares, no he considerado nada de eso porque me estoy yendo por cosas que no tiene el instituto, por ejemplo lo de los museos; eso es otra cosa aparte que yo quería implementar. Lo de las evaluaciones si toca tener soporte de algo y bueno los ejercicios van a ser de dos clases, ¿sí? O sea analítico y de solución matemática [249-ENT].

Así, Daniel revela una dualidad de tareas de evaluación en la búsqueda por satisfacer las demandas personales y las del instituto. Conviene adicionar aquí que para Daniel, tanto las exposiciones como los ejercicios de lápiz y papel son fundamentales. Sin embargo la llamada *evaluación final*, resulta ser algo impuesto por la institución y que se debe asumir pasivamente. Respecto de las exposiciones y los "ejercicios" Daniel comenta:

> I.— … ¿Cómo vas a hacer esa evaluación sobre el aprendizaje de los estudiantes? [242-ENT]
>
> D.— Pues lo que yo planeaba, al igual tengo que hacer una evaluación final de eso. Tenía planeado exposiciones que ellos hicieran sobre los laboratorios, entonces en las siguiente clase dar un tiempito para que las exposiciones de los laboratorios y ejercicios que se entregan [243-ENT]
>
> I.— Y ¿en qué te vas a fijar? [244-ENT]
>
> D.— Pues en, yo no me voy a fijar mucho en los ejercicios, cómo los resolvieron, o sea, me voy a fijar en que conceptos tuvieron más o menos ahí, al igual toca meterle algunos ejercicios numéricos, o sea, ya es como más cosa del colegio entonces voy a mirar pues cómo analizaron los ejercicios numéricos y cómo analizaron los otros ejercicios a ver qué no entendieron en serio, de verdad, o es que hay algo del concepto que no es… porque puede que realicen los ejercicios numéricos, pero el resto no lo hagan bien, o al contrario y uno ya se da cuenta que es lo que se les dificulta más [245-ENT]

Como se aprecia, Daniel supone que la evaluación de los "ejercicios numéricos" consiste en revisar la capacidad analítica de solución de estos por parte de los estudiantes. Aunque no se especifica en qué consiste la evaluación como tal, se vislumbran algunos elementos como: *saber qué dificultades tuvieron, relacionar si tienen fundamentadas sus bases teóricas para resolverlas o la búsqueda de inconsistencias como la de poder hacer bien los ejercicios, pero no entender los conceptos y viceversa*. Estas características, evidenciadas en la entrevista, tienen visos de evaluación formativa dado que dejan ver el proceso de reflexión del profesor sobre alternativas de cualificación de la enseñanza con la consecuente calidad en el aprendizaje; es formativa en cuanto permite mejorar estos aspectos (Mendoza, 1998).

### En busca del equilibrio

Los ejercicios que propone Daniel se entienden desde la perspectiva de lo teórico y desde el punto de vista matemático. En la primera, Daniel cree que la actividad de análisis que le es inherente al proceso de solución del ejercicio debe ser revisada y evaluada.

> I.— Cuándo dices analíticos, ¿a que te refieres? ¿Qué miraras allí? [250-ENT]
>
> B: Cómo analizaron el ejercicio, o sea, tanto como nota por eso no voy a poner, sino cómo atacaron ellos el ejercicio, desde qué punto lo atacaron y mirar si entendieron o no entendieron. En el caso de que no entendieron decirles: "Mire, encontré algunas dificultades en tal parte", entonces, bueno, si no entienden las preguntas sobre eso, llamo al grupo o al muchacho que no entendió y decirle: "Usted escribió tal". Empezarle a preguntar, pregunta respuesta [251-ENT].

Así, a Daniel le interesa destacar las estrategias mediante las cuales los estudiantes "atacan" el ejercicio como indicador de comprensión conceptual, para así generar una especie de diálogo socrático sobre lo que se comprende del problema. Esto se complementa con la "evaluación final" [243-ENT], considerada como obligatoria, en la que tendría en cuenta: "Conceptos sería uno, y ejercicios, ya tocaría ejercicios numéricos como para tener soporte. O sea mitad y mitad para que no se vaya recargar a ningún lado" [253-ENT]. Al preguntársele, ¿qué quieres tener en cuenta de los conceptos?, responde: "Sería punto de definir conceptos y puntos de ejercicios así como: ¿qué pasaría si? Lo del rayo y eso" [255-ENT]. Así las cosas, se revela una especie de ambigüedad en la concepción de los tipos de ejercicios, por un lado los denomina analíticos haciendo referencia a lo que se comprende, pero para revisar aprendizajes de conceptos, situación que puede ser interpretada usualmente como problemas de "física conceptual" (Hewitt, 1999), sin embargo estos también se ven desde la perspectiva de las definiciones, es decir, que la evaluación (final) debería hacer énfasis en cuestionar lo conceptual a partir de las definiciones. Ahora bien, los "ejercicios" también adquieren una connotación dual, dado que cuando él habla de ejercicios de "solución matemática" lo hace para diferenciarlos de los analíticos y cuando habla de "puntos de ejercicios así como: ¿qué pasaría si? Lo del rayo y eso" [255-ENT] lo hace para complementar las definiciones de conceptos. En este sentido Daniel se mueve entre una concepción de evaluación escrita tradicional en la que hay que poner a los estudiantes a hacer ejercicios, y una concepción crítica que pretende dar sentido al aporte de los "ejercicios" en el aprendizaje de la física.

### Evaluando errores: evocación del aprendizaje universitario

De la entrevista se encuentran semejanzas sobre la relación de los aprendizajes de la universidad con las pretensiones didácticas de Daniel con sus estudiantes:

a. Respecto a los errores con los procedimientos asociados a los ejercicios de lápiz y papel y la ecuación E= F/Q:

> Porque yo he cometido los mismo errores y me parece injusto que ellos más o menos; bueno de ellos depende ¿no?; si ellos entendieron el concepto así como tal y van a aplicarlo y tuvieron el punto anterior bien y la ecuación la aplicaron bien pero a la hora de los números les dio mal, o sea, yo no los atacaría con lo de los números porque va encontrar de lo que yo, me pasa a mí [289-ENT].
>
> O sea, si a mí me pasa a ellos también les puede pasar, entonces uno aprende de los errores de uno [291-ENT].

b. Respecto a lo que puede recoger de sus vivencias en la clase de Electromagnetismo de su plan de estudios:

> Pues yo vi dos electricidad y magnetismo, una con [nombre de un profesor] que la verdad no entendí mucho, a él no le entendí mucho, hizo un experimento que yo quería que hiciéramos acá, pero no sé si haya. Que era cargar, es esto de aceite, cargar las dos cosas y mirarla en un video, en un video de eso, y se alcanzaban a ver las líneas, pero no sé. Si acá lo hay de pronto lo hago porque la vaina es lo del mirar bien el video y eso. Eso quería implementarla, bueno. Lo de los experimentos de Van de Graaff y de esto viene de allá y viendo que aquí están pues aprovecharlos. Ah, bueno, el resto no, porque era numérico, le entendí al profesor que dio a lo último relatividad y ya, bueno, y lo aplico a las leyes de Maxwell y entonces mismos la aplicación y ya. Conceptos como tal, yo me veo más en conceptos como tal, pero que con el trascurso de los cursos uno lo va aclarando un poquito y cosas que uno dice: ya me voy por este lado [291-ENT].

Daniel propone que respecto a la ecuación E= F/Q, le interesaría indagar en los estudiantes sus conceptos acerca de procesos de acercamiento o alejamiento de la carga de prueba respecto de otra carga eléctrica, para luego asignar ejercicios numéricos. Esta forma de argumentar la posibilidad de evaluar los aprendizajes de los estudiantes deviene de su experiencia como estudiante de la licenciatura, aspecto que reconoce como una situación algo injusta pues cuando a él le ha tocado resolver las pruebas parciales en los espacios académicos ha cometido errores en los procedimientos matemáticos, especialmente en los signos de las variables, y por ello ha tenido dificultades en la evaluación de sus propios aprendizajes. Argumenta además, que esta experiencia no sería justo repetírsela a los estudiantes a su cargo, por ello manifiesta que en su evaluación el énfasis va a ser en revisar los procesos, o estrategias, desarrolladas por los estudiantes. En este sentido, asume una postura crítica frente al énfasis de la evaluación de los procesos de sus estudiantes, pero poco crítica respecto a los modos o estrategias de evaluar, pues se refiere generalmente a los ejercicios de lápiz y papel que tradicionalmente se utilizan para ello.

Así, en materia de prioridades sobre evaluación, para Daniel "[…] van primero los conceptos, o sea ¿qué pasa si se aleja?, ¿qué pasa si se acerca?, y ahí sí, ¿cómo maneja la ecuación?" [285-ENT], de manera que se ratifica la perspectiva de evaluación basada en el conocimiento teórico, como fundamento del aprendizaje de otros contenidos. En este caso, reitera que hay que evaluar "… primero lo de los conceptos… y después sería lo de los ejercicios, ¿usted qué haría si los valores fueran tal y tal?, o sea lo numérico" [285-ENT]. Aquí, para Daniel es fundamental evaluar "… la capacidad… o sea, cómo vieron, cómo atacaron el problema desde los dos puntos de vista. O sea, cómo acogieron el concepto y si lo acogieron y cómo atacaron numéricamente el concepto" [287-ENT]. Se aprecia entonces que la idea de la contienda con los números se constituye en algo digno de ser evaluado, en especial porque para él han existido situaciones similares en su vida académica en donde ha tenido "… problema como tengo yo en los parciales, que son errores de; si son de signos ya es otra cosa" [287-ENT], situación que, al parecer, le permite tomar una posición

menos inflexible que la que él ha vivido en la universidad con sus profesores [289-ENT] y considerar que "si son errores numéricos no lo voy a tener muy en cuenta eso" [287-ENT], y preferiría centrarse en evaluar "[…] cómo aplicó y se encaminó en el procedimiento"[287-ENT], ya que sería muy injusto de su parte castigar a sus estudiantes por cosas que a él también le han sucedido, por ello afirma que "[…] o sea, si a mí me pasa, a ellos también les puede pasar, entonces uno (debe) aprender de los errores de uno" [291-ENT].

En síntesis, para el profesor practicante los conceptos son los primeros aspectos que se deben evaluar en los estudiantes, se prioriza aquí la pregunta por la fuerza. Si habría que evaluar las habilidades, estas serían las que están asociadas a la metáfora de la contienda, donde a los estudiantes hay que evaluarles las formas como "atacan" el problema, las formas como usaron los conceptos, es decir, hay una perspectiva acumulativa lineal de evaluación y, en este sentido, se hace netamente sumativa, los conceptos son útiles en cuanto les sirva para resolver lo que se llaman problemas, pero que se traducen en ejercicios de lápiz y papel. Asimismo, la reflexión sobre el tipo de evaluación pretende poner de manifiesto que el interés no sería en si en "los números" a los estudiantes les va bien o mal, sino que, producto de la reflexión sobre su propia experiencia, el centro no debería ser ese, aun cuando se declare lo contrario en el argumento anterior.

### La pregunta abierta

Cuando Daniel asigna el carácter de indagación a la pregunta, se evidencia una relativización del rol de los sujetos, profesores y estudiantes. Por ello, si se hacen preguntas evidentes y cerradas la actitud del estudiante será tratar de responder lo que él quiere oír, pero cuando se les asignan "[…] preguntas abiertas, concisas que ello respondan de una manera que ellos crean no que respondan de la manera que el profesor crea" [36-ENT], esto permite una expresión más honesta de parte de los estudiantes. Ahora bien, en la planeación Daniel también considera el trabajo de laboratorio como parte de lo que denomina criterios axiológicos de evaluación, pero aquí no especifica en qué consiste este espacio como tal, sino más bien que el criterio va a ser la creatividad.

### Aportes a la hipótesis de progresión

Como parte del proceso de triangulación de las fuentes de información se presenta lo relacionado con las actividades del documento de planeación [PA] y la encuesta [ENC], así como lo que se colige de la entrevista [ENT] en relación con la hipótesis de progresión. Para el componente de Actividades se observa que:

1. En el documento de planeación Daniel plantea de forma general la evaluación. En el eje cognitivo considera que los procesos para esta unidad son la comprensión y la interpretación, pero no especifica aquí cómo se entiende cada uno

de estos ni cuáles son los criterios puntuales que se deben considerar; parecen estar redactados en términos de los estudiantes a quienes se les evaluaría, pero no evidencia su asociación con algún contenido específico. En el eje antropológico menciona aspectos relacionados con procesos de convivencia y actitudes de trabajo en grupo (dinamismo y convivencia pacífica), no obstante no queda claro sobre qué base los pretende evaluar ni están asociados a contenidos o a actividades concretas. En el eje axiológico se decide por la creatividad como el aspecto por evaluar en lo que respecta al trabajo de laboratorios, pero tampoco la vincula con contenidos conceptuales o actitudinales, sin embargo sí se menciona la posibilidad de poner en común los experimentos y esto se encuentra asociado con la idea de valorar la participación, es decir, pretende valorar la capacidad para explicar procedimientos (nivel IV).

2. Se encuentra que Daniel planea evaluar las acciones individuales y grupales de sus estudiantes aunque no especifica estrategias concretas o criterios de valoración como tal, ni mucho menos una perspectiva de integración de las evaluaciones a los procesos planeados en la secuencia. Con toda la evaluación adquiere un matiz de prueba y comprobación terminal, aun cuando se involucran aquí las actitudes (nivel II). Por último, sus propuestas adicionales de modificación de la pregunta de las cargas (Q, 5Q), en la encuesta [5-ENC] ratifican la preferencia por lo cualitativo con el sesgo de pretender indagar sobre las maneras como los estudiantes comprenden las relaciones entre fuerza y carga, campo y carga, fuerza y distancia así como entre campo y distancia, todas altamente relacionadas en las ecuaciones que le son inherentes.

3. El CDC de Daniel manifiesta indicadores de nivel II y nivel IV principalmente, al reconocer caminos para indagar las ideas de campo, pero desde un enfoque autorreflexivo de los estudiantes, y también al valorar la posibilidad de tener múltiples respuestas ante una misma situación, preferiblemente de orden cualitativo, aun cuando hay que evaluar aspectos que siempre se preguntan en los cursos regulares.

4. En la entrevista se observan indicadores de corte no reflexivo en lo que respecta a la solución de ejercicios, y de corte reflexivo lógico en lo que tiene que ver con la posibilidad de revisar procesos o habilidades mentales en los estudiantes.

5. En la planeación manifiesta indicadores tanto en el nivel reflexivo lógico como en el reflexivo integrador.

**Tabla 21.** CDC evaluación. Fase declarativa

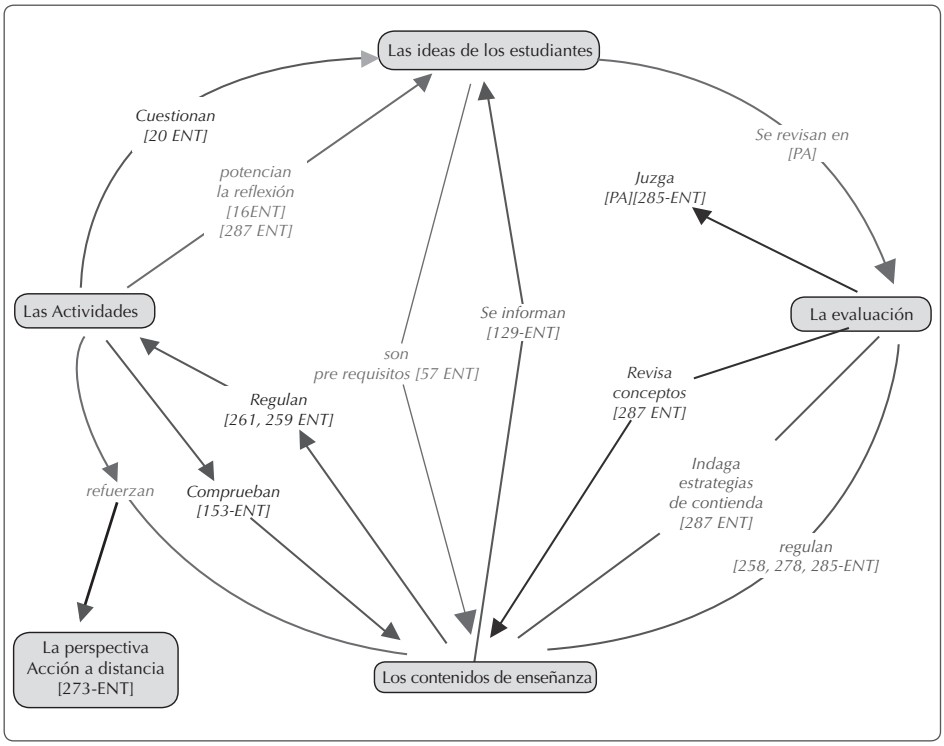
| Nivel I (no reflexivo) | Nivel II (reflexivo lógico) | Nivel III (innovador) | Nivel IV (reflexivo integrador) |
|---|---|---|---|
| n. a. | Puede haber otras respuestas a los ejercicios, pero hay que hacerles ejercicios de todas maneras. Hay que evaluar algunas cosas que siempre se preguntan. | n. a. | Cada estudiante puede reflexionar sobre lo que hace pues piensa diferente. |
| Prioridad por las definiciones en relación con la solución de ejercicios. | El análisis como habilidad de los estudiantes debe ser evaluado.<br>No hay que darle mucha importancia a los errores de signos en los procedimientos, pero hay que hacer los procedimientos. | Se evalúan conceptos y actitudes.<br>Se valida la evaluación al final del proceso en la secuencia de actividades. | n. a. |
| n. a. | n. a. | n. a. | Se consideran elementos de puesta en común, se valida la evaluación de habilidades para explicar procesos |

**Nota:** Fase declarativa previa a la sesión de clases, evaluación.

## *Primeras relaciones entre componentes en la fase declarativa*

La fase declarativa de la investigación evidencia algunas relaciones entre los componentes del CDC de Daniel respecto de sus propósitos didácticos en la enseñanza del campo eléctrico. Así, los contenidos de enseñanza son reforzados por las actividades, las cuales también deben servir para comprobarlos. En tal sentido, los contenidos regulan también las actividades y la evaluación, la cual termina siendo un trabajo asociado a indagar en los estudiantes cómo se enfrentan a los ejercicios numéricos, así como a revisar conceptos.

**Figura 39.** Relaciones entre los componentes del CDC de Daniel en la fase declarativa




Adicionalmente, las ideas de los estudiantes son prerrequisito para el desarrollo de los contenidos, pero estos deben ser informados por Daniel, es decir, que se toman como fuente en él y como insumo en los estudiantes, aspecto que caracteriza una pedagogía de orden transmisionista en lo que a las ideas de los estudiantes sobre campo eléctrico se refiere. Las ideas de los estudiantes han de ser revisadas mediante la evaluación, producto de la cual se establecen juicios sobre estas. En este sentido la evaluación no parece tener un vínculo fuerte con las actividades de la clase, pero estas últimas sí resultan relacionadas con las ideas de los estudiantes, especialmente en procurar su reflexión y cuestionamiento. Una representación de estas relaciones entre los componentes se ilustra en la figura 39.

## Resultados y análisis de la fase de acción

Una vez se aplicaron los tres instrumentos iniciales de la fase declarativa, se procedió a registrar en audio y video las sesiones de clase de Daniel. En un comienzo (dos sesiones de clase de noventa minutos cada una) se asistió a dos sesiones de preparación en el lugar de trabajo para que tanto los estudiantes como Daniel se familiarizaran

con la presencia de la cámara y con el observador, siguiendo las recomendaciones de Erickson (1997, en Wittrock, 1997) en cuanto a los "principios básicos" del acceso al lugar y la ética. En este sentido, se acordó con Daniel el día en el que se podía comenzar la grabación, así como el compromiso de respeto a su profesionalidad y la salvaguardia de su nombre para efectos del informe de investigación. Igualmente se procedió con los estudiantes del curso en presencia de Daniel informándoles el propósito de la indagación y por tanto de la presencia de la cámara, que principalmente estaría centrada en capturar el trabajo de Daniel en el aula. Para ello también se contó con la anuencia del profesor tutor del colegio y de las directivas de este. Ahora bien, conviene insistir en que como investigador siempre se procuró que la ambientación del uso de la cámara en las sesiones previas, como en las relacionadas con el campo eléctrico, consistiera en un proceso de inserción del objeto y del profesor en un lugar y en un momento en el cual los estudiantes y Daniel decidieran, así las dos primeras sesiones se ubicó la cámara donde generalmente se sentían cómodos ambos, luego en las sesiones subsiguientes hubo mayor libertad para desplazarla o relocalizarla en atención al objetivo de la investigación.

En las primeras sesiones, Daniel abordó tareas y actividades generales no asociadas, en estricto, con la enseñanza del campo eléctrico, de manera que solamente se contaba con la presencia del observador, quien no participaba, y permanecía en silencio, y en ocasiones la cámara de video estaba apagada. Una vez Daniel comenzó con la enseñanza de la carga eléctrica, se encendió la cámara de video y se hicieron los registros a partir de allí. El proceso de observación se llevó a cabo en las condiciones descritas cuando Daniel dictaba las clases "teóricas" en el salón de clase, sin embargo, cuando se hicieron sesiones de "laboratorio" (desarrolladas en un salón adjunto) el esquema de observación requirió el movimiento del observador con la cámara por algunos puestos de trabajo, ya que debía registrarse la interacción de Daniel con sus estudiantes, excepto cuando Daniel solicitaba la atención de todo el grupo y desarrollaba experiencias demostrativas a escala general. Siguiendo a Martínez (2000) se hizo un panorama general de las sesiones registradas, que se muestra en el apéndice G, en el que se expone el proceso desarrollado, y que permite destacar cómo la clase dedicada al campo eléctrico se constituye en fuente de análisis y de referencia para el cumplimiento de los objetivos de la investigación, aspectos que se presentarán en el análisis correspondiente.

Ahora bien, dado que el objetivo de esta tesis hace énfasis en la caracterización del CDC para el caso de la enseñanza del campo eléctrico como contenido conceptual de la física, se han seleccionado como fuentes de información las sesiones de clase cinco, seis y siete, en las que Daniel se enfoca en la enseñanza de este concepto como se observa en el panorama general (apéndice G); en otras sesiones Daniel se enfocó en la carga eléctrica y en tareas pendientes de temas anteriores. En las sesiones seleccionadas, se explicitó el tema del campo eléctrico y se acudió a su

explicación y ejemplificación, además se relacionó con el funcionamiento del generador de Van de Graaff (GVDG), para lo cual se seleccionó adicionalmente la unidad de análisis de la clase experimental denominada Laboratorio [LAB] (apéndice E).

Al igual que para la fase declarativa, los resultados del análisis de la sesión de clase de campo eléctrico [CLA] y del laboratorio [LAB] se organizan de acuerdo con los componentes del CDC. Por esto, en lo que sigue se distingue la interpretación de la clase en relación con tales categorías, proceso que se acompaña de una referencia a la hipótesis de progresión en cada caso. Como se mencionó en la metodología, el proceso de análisis consistió en establecer similitudes en las afirmaciones, de manera que se organizaron grupos de unidades de análisis, resultado de lo cual se comenzó a generar proposiciones que identificaran estos grupos de unidades de análisis (ver apéndice H). El resultado de este proceso se contrastó con un par académico del proyecto curricular de Licenciatura en Física.

Las proposiciones que inicialmente se construyeron para cada categoría del CDC en relación con la clase, el laboratorio y la fase, se agruparon por semejanza para hacer inferencias e interpretaciones a manera de análisis general.

## Resultados y análisis del componente Contenidos

Para Daniel el campo eléctrico es tanto una definición matemática como una forma de referirse a una región de espacio. Este énfasis en el contenido conceptual dado a la enseñanza del campo eléctrico tiene matices de validación de conceptos como el de fuerza, distancia y espacio. Así, la representación del campo eléctrico hace uso de su enfoque matemático y geométrico. El primero con la ecuación de campo eléctrico, y la ley de Coulomb, y el segundo con las líneas de fuerza. Adicionalmente, la enseñanza del campo eléctrico se toma a partir de la linealidad de las distribuciones de carga; en primer lugar se analiza para dos cargas puntuales y luego para más de dos, y por último, el campo eléctrico para dos placas metálicas paralelas, sin embargo esta situación se enseña en relación con el primero de los casos, dos partículas puntuales cargadas, asumiendo así un enfoque reduccionista que acude a una analogía.

### *La carga y sus interacciones*

La forma como Daniel guía a sus estudiantes en la solución de ejercicios de lápiz y papel involucra la pregunta por el signo de las cargas y las posibilidades de atracción o repulsión entre estas, de manera que los estudiantes deban "dibujar las fuerzas, ±…// ¡Ya!, después de dibujadas las fuerzas, la fuerza neta es la suma de las fuerzas…, eso es…" [CLA-044], con lo cual se requiere que los estudiantes apliquen sus conocimientos sobre sumatoria de fuerzas en relación con su representación vectorial. Así, Daniel demanda a sus estudiantes el uso de las leyes de Newton para el caso de la fuerza eléctrica como por ejemplo en el ejercicio del péndulo cuando pregunta "¿Cuáles serían por leyes de Newton… las fuerzas que actúan sobre este péndulo?" [CLA-072].

## *Fuerza y campo: confluencia de modelos*

Daniel presenta el concepto de campo eléctrico como una región de espacio entre dos cargas eléctricas, e inmediatamente hace referencia a la idea de fuerza en el sentido de entenderla como una consecuencia de la existencia del campo; es decir, "esa fuerza era porque había un campo eléctrico" [CLA-091]. De esta manera el campo eléctrico es explicado en asociación con las cargas eléctricas y la fuerza, aun cuando sobre su origen o naturaleza no se explique nada de manera explícita. Así las cosas, la idea de fuerza es fundamental para explicar el comportamiento de una partícula en un campo eléctrico, sin embargo Daniel no hace referencia a una distinción de la fuerza como intensidad del campo en un punto del espacio o de la fuerza como acción a distancia entre las cargas. Esta forma de explicación carece de lo que Pomer (1994) plantea sobre la necesidad de establecer una ontología al campo eléctrico, especialmente en relación con los fenómenos cotidianos, es decir, que con este tipo de desarrollos didácticos lo que se hace es impedir que el campo adquiera realidad en relación con "las fuentes que lo crean" (p. 394).

Asimismo, la explicación que hace Daniel acerca del campo eléctrico se complementa con algunas comparaciones entre sistemas de pares de objetos físicos como por ejemplo: Tierra-Luna, Sol-Tierra, núcleo-electrón. Para este último Daniel expresa: "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, ±. // [señalando constantemente el tablero y a su vez dirigiéndose a los estudiantes]" [CLA-093]. Es decir, para él la Luna orbita porque existe un campo generado por la Tierra, similarmente el electrón orbita porque existe un campo generado por núcleo atómico, en ambos casos la permanencia del movimiento orbital se le atribuye a la existencia del campo.

### El campo eléctrico, ¿un convidado de piedra?

En el caso del par *núcleo-electrón*, el profesor practicante aclara que la permanencia de la órbita no solo se debe a la existencia del campo, sino que es debido a que "[…] ese campo eléctrico producía una fuerza… dentro de ella" [CLA-093], de manera que él conecta el concepto de fuerza con el campo eléctrico, donde este es la fuente de la fuerza, aun cuando no menciona el mecanismo de transmisión de esa fuerza en el espacio, aspecto que podría entenderse le es inherente a la idea de fuerza como acción a distancia. Adicionalmente, dado que afirma, "la fuerza que había ahí se debía al campo eléctrico que estaba entre ellas, que era el espacio… que había entre ellos […]" [CLA-093], el campo eléctrico se asocia a la idea de espacio limitado, es decir, a la sección de espacio comprendido entre las partículas cargadas, y por lo tanto no queda claro el papel del campo en la explicación de la interacción

(Martín y Solbes, 2001). Esta perspectiva de indefinición del rol del campo eléctrico se ratifica también cuando Daniel presenta la ecuación de la intensidad de campo eléctrico (E= F/q) [CLA-096] para destacar la participación de la fuerza y de la carga, y también para compararla con las leyes de Newton. En este sentido Daniel comenta "… como 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, ±...// [señalando constantemente el tablero y a su vez dirigiéndose a los estudiantes] es como las leyes de Newton" [CLA-097]. Con esto deja a un lado la explicación de las relaciones proporcionales entre carga, campo y fuerza, y prefiere relatar que "llegaron a que, bueno, les voy a escribir la ecuación, ±...solo por lo que se den de cuenta, la conclusión a la que llegaron" [CLA-095], y se evidencia cómo el campo eléctrico, entonces, termina siendo enseñado de forma "a-problemática y, por tanto, arbitraria" (Furió y Guisasola, 1997, p. 264).

### Las líneas de fuerza

Daniel explica el origen de la línea de fuerza en relación con el signo de la carga eléctrica a manera de relato:

> Entonces, decían… [gráfico de Daniel en el tablero ⊕]
>
> Cada carga debe tener sus líneas…***… ¿cómo le digo?, su línea de fuerza, bueno ±. [se mueve de lado a lado y a su vez mueve sus manos] [CLA-098].

En su explicación Daniel acude a la diferenciación entre líneas de fuerza y vector fuerza, y pareciera que se encuentra interesado en que sus estudiantes no confundan estas dos ideas aun cuando se utilice el concepto de fuerza en ambos, aspecto relevante por cuanto el concepto de fuerza se asocia a la idea de vector y se representa con una flecha, y las líneas de fuerza son líneas continuas, rectas o curvas que terminan con una flecha. En este aspecto Törnkvist *et al.* (1993) han investigado cómo los estudiantes asumen explicaciones en las que estas diferenciaciones no son claras respecto al papel de representación que tienen las líneas de fuerza sobre el campo eléctrico. Dado que la carga eléctrica se dibuja en el tablero en forma circular, las líneas de fuerza le pertenecen a la carga dependiendo de su signo y las representa inicialmente como flechas rectas ( ⊛, ☼ ).

Como segundo momento de enseñanza de las líneas de fuerza, Daniel dibuja el caso de dos cargas positivas separadas a cierta distancia (⊕ ⊕), este proceso se acompaña de una pregunta a los estudiantes,

> … que si poníamos dos cargas positivas, ¿qué pasaba?….
>
> ¿O qué creen ustedes que debería pasar con las líneas de fuerza?… [CLA-101],

Y procede a dibujar la solución del caso ( ) distribuyendo las líneas de fuerza en el espacio alrededor de las cargas positivas sin limitarlas a una región determinada, la

idea de repulsión es asociada a la representación del sentido de las líneas de fuerza "… porque nosotros decíamos que cargas del mismo signo se repelían…" [CLA-103]. El siguiente paso consistió en preguntar: "¡Entonces!, ¿qué pasaría si tenemos una fuerza, una carga eléctrica positiva y una negativa? Si las dos positivas se desvían, (entonces), ¿cómo serían la negativa y positiva?" [CLA-104] (⊕ ⊖) e inmediatamente procede a responder él mismo la pregunta:

> tenderían a unirse, ¿cierto?…// [señala constantemente el tablero y a su vez se dirige a los estudiantes].
>
> ¿Por qué?, por qué las líneas de esta, salen y las líneas de esta entran, ¿cierto?… (⋘) [señala constantemente el tablero y a su vez se dirige a los estudiantes]…//.
>
> ¡Entonces!, esto demostraba que, que gracias a ese campo eléctrico, que estaba en toda la mitad, ±…// hacía que una carga se repeliera, o se atrajera, ±...// [señala constantemente el tablero y a su vez se dirige a los estudiantes].
>
> Que esto era como la demostración de lo que nosotros habíamos visto de cargas, que de igual signo se repelen y cargas de diferente signo se atraen, ±… [CLA-106].

La representación de las líneas de fuerza en el caso de cargas de diferente signo (⋘) muestra que las líneas de fuerza de las partículas se encuentran localizadas en el espacio comprendido entre las dos partículas, dejando de lado otros sectores que también rodean las cargas. Se observa aquí que para explicar el caso de placas paralelas, Daniel, acude a las líneas de fuerza que se encuentran dentro de tales placas de manera similar al caso de dos cargas puntuales.

### *Cierre del tema*

Daniel considera que el tema está completamente explicado:

> […] esto era como la breve muestra…// [se mueve de un lado a otro señalando el tablero y cerrando su explicación] de lo que era las líneas de campo eléctrico, y el campo eléctrico era pues lo que generaba esas líneas; ±, lo que estaba, el espacio que estaba entre ellos…// [CLA-107].

Sin embargo dado que supone que hay dudas advierte:

> ¿Hay alguna pregunta? y si la hay, ¡díganmela de una vez!, porque no quiero ahorita preguntarles y decir, ¿qué pasó?… hasta aquí esta entendido, ±…[señala a un estudiante] [CLA-107].

Un estudiante le pregunta:

> […] en las dos cargas diferentes, las negativas entran, ¿cómo quedarían si las dos fueran negativas? [el estudiante señala el tablero y el docente observa de manera detenida] [CLA-108]

Daniel decide responder la pregunta y el diálogo con sus estudiantes se da de la siguiente manera:

> D.— ¡Buena pregunta!//… ♣♣♣ [se dirige hacia el tablero] (⊕ ⊖).
>
> Entonces, tenemos las dos negativas… las líneas entran, ¿cierto?…// ¿Qué pasaría?...
>
> E.— ☺ Se repelen.
>
> D.— Pero ¿cómo serían las líneas entrantes a cada uno?
>
> E.— ☺ [Responden. El docente en formación presta atención a las respuestas de los estudiantes y posteriormente se dirige al tablero].
>
> D.— ¿Entran?, ¿entran cierto?, ¿entra?, ¿entra cierto?… ¡entra! ¡Entra! (✋ ✋) [CLA-109 a CLA-113] [D.: Daniel, E.: estudiantes].

La pregunta del estudiante revela la necesidad que tiene de complementar los casos de distribuciones de las líneas de fuerza en pares de cargas puntuales, ya que él solamente había explicado el de un par de cargas positivas. En este proceso de devolución a la pregunta del estudiante, centra la atención en la representación de las líneas de fuerza. Es decir, utiliza la misma lógica que cuando explicó el tema para los otros casos. Así como para el caso del par de cargas positivas, el dibujo en este nuevo caso contempla las líneas de fuerza distribuyéndose en el espacio que rodea las cargas, teniendo en cuenta que existe un pequeño espacio en el cual se repelen por ser del mismo signo (✋ ✋). En este sentido asocia la idea de repulsión con líneas de fuerza que ocupan todo el espacio, excepto aquel que está entre las cargas, y la idea de atracción, para el caso de un par de cargas de signos opuestos con el espacio limitado entre estas. Estas representaciones de las líneas de fuerza se pueden reconocer en el marco de lo que Llacanqueo, Caballero y Moreira (2003) distinguen sobre los campos conceptuales de Vergnaud (1993) aplicados al concepto de campo eléctrico. Estos investigadores identifican que las

> principales representaciones de los fenómenos físicos FF y de los invariantes físicos I(FF) y matemáticos I(OM) son las representaciones geométricas de flechas y representaciones analíticas de componentes del álgebra vectorial. Además, las representaciones proposicionales de ecuaciones y gráficas tales como tablas, gráficos, diagramas de flechas, líneas de fuerza, superficies de nivel de las funciones, de los campos escalares y de los campos vectoriales, tales como campos de fuerza, campos de temperatura, campo eléctrico, campo magnético usados en las situaciones (p. 237).

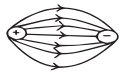
Así, la representación de las líneas de fuerza resulta transversal a las explicaciones de Daniel para los casos de estudio en la clase. En efecto, tanto con cargas puntuales como con placas paralelas, Daniel acude a las líneas de fuerza como representación de la interacción eléctrica y resulta fundamental incluso en la última parte de la clase, cuando se discuten estas formas de representación para el caso de cinco cargas puntuales. Cabe preguntarse entonces, hasta dónde estas representaciones de las líneas de fuerza representan para él el campo eléctrico.

## *Placas paralelas*

Daniel comienza la secuencia de enseñanza del campo eléctrico en placas paralelas advirtiéndoles a los estudiantes que, como "ustedes hicieron todas las analogías posibles para estas líneas de campo…// [mira al tablero tratando de que sus estudiantes le sigan la mirada y así tengan un referente] entonces… ¿qué creerían que pasaría en dos placas cargadas de diferentes maneras, o sea, una positiva y una negativa?" [CLA-113]. Dado que esta tarea se hace en simultánea con la atención individualizada a algunos estudiantes el proceso es como sigue:

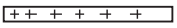
(E: Estudiante, D: Daniel)

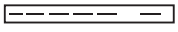
[Un estudiante responde con un gráfico en el tablero y se oyen gritos de apoyo mientras Daniel hace una explicación personalizada.]

E.— 

[Dibujo elaborado por el estudiante en el tablero]

D.— ¡Dos placas, dos placas, placas, placas!… Entonces, ¿qué serían placas?..., si quiere le hago las placas y usted, y usted me dice que sería lo que pasaría… [borra el dibujo que había hecho el estudiante enfatizando que son placas].

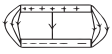




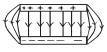
±, ¿Qué pasaría ahí?… [Daniel regresa al estudiante que estaba atendiendo para continuar con su explicación].

E.— [dice que hay una partícula positiva, que se encuentra con ese campo eléctrico, que apunta a ese campo…// Dice que, cuál es la carga de esa partícula…] Si es positiva se irá así o como…

D.— Ah, bueno, una carga positiva...// El campo eléctrico hacia allá.../// Entonces, va de positivo a negativo, ¿cierto?…negativo hacia abajo, entonces va así

E.—  [dibujo hecho por el estudiante a manera de respuesta, mientras tanto Daniel regresa a donde está ubicado el estudiante al cual le estaba explicando de forma personal].

D.— Hágalas todas, todas las líneas… // ¿Acá entonces hay una sola línea?…// [señala en el tablero las líneas que se deben completar] ¡Ah, bueno!, eso es lo que le digo, haga más, no las de afuera, sino las de adentro…

E.—  [dibujo del estudiante elaborado después de la aclaración hecha por Daniel]

D.— ¿Sí lo entendió?... Bueno, hasta ahí bien… [CLA-115 a CLA-132].

En este proceso la idea de placa en los estudiantes no es cuestionada por Daniel explícitamente, es decir, aunque él repite la palabra varias veces, no pregunta al estudiante sobre su concepto acerca de esta (placa). La alternativa consistió en seguir brindándole información, por eso termina dibujándole las placas.

Son varios los roles y decisiones que va tomando el profesor practicante con la enseñanza de las placas paralelas. Primero, el asumir el trabajo simultáneo indica una disposición para el grupo y para alguno de sus estudiantes, por lo menos en el sentido de asignación de tareas. Segundo, la toma de decisiones como respuesta de las acciones del estudiante, dado que al revisar su comprensión sobre el ejercicio, se acerca y le insiste en la idea de placas, pero como no obtiene respuesta concreta decide borrar la representación del estudiante y dibujarle las placas. Así, esta didáctica de reemplazar la representación del estudiante por la suya, revela también falta de un proceso de mediación o diálogo con el estudiante sobre el porqué dibujó las cargas y no las placas. Ahora bien, toma nuevamente la decisión de ordenarle al estudiante complementar su dibujo con muchas más líneas de fuerza e insistirle en las convenciones de su dirección. En este proceso el estudiante todo el tiempo admitió pasivamente su rol y no fue cuestionado de manera explícita por Daniel sobre el origen de sus propuestas de representación, por ello el trabajo del profesor practicante cae en enfatizar las líneas de fuerza como representación del campo, pero no se orienta sobre la pertinencia de la representación en la interacción entre placas paralelas, es decir, con esto también se puede desorientar "... a los alumnos si no se clarifican suficientemente los conceptos, estableciendo sus relaciones, sus diferencias y ámbitos de aplicación" (Martín y Solbes, 2001, p.393), porque placas metálicas cargadas eléctricamente resulta un ámbito diferente al imaginario de dos cargas puntuales en el espacio.

### *Aportes a la hipótesis de progresión*

Por último, en la intención de caracterizar el CDC del profesor, con base en la hipótesis de progresión (ver tabla 22) para el componente de Contenidos se observa que:

1. Dado que Daniel enseña el contenido a manera de relato, no asume una postura crítica sobre su origen. Esta visión no reflexiva presenta al conocimiento físico como un producto de otros, que debe ser informado a los estudiantes. En efecto, el estilo de explicación se caracteriza por expresar verbalmente el contenido, sintetizar simbólicamente una representación en el tablero y acudir a la atención de los estudiantes señalando el tablero constantemente (nivel I).
2. Con esto se evidencia un centro tanto en Daniel como en la enseñanza de contenidos en el aula, proceso en el cual los estudiantes deben prestar atención y, preferiblemente, permanecer en silencio.

3. Asimismo, la explicación de Daniel sobre el campo eléctrico se hace como un relato de elaboraciones conceptuales construidas por otros que "…llegaron a que decían, bueno eso es el campo eléctrico, el espacio, el espacio que hay entre, entre cada carga…" [CLA-098], en que se cuenta la lógica seguida por aquellos que determinaron esa relación y el énfasis de la explicación de Daniel se centra en que los estudiantes puedan comprender tal lógica, que en últimas se refiere a la analogía entre campo gravitacional y campo eléctrico con las siguientes características:

   a. La fuerza es producida por el campo.

   b. Lo que en una se llama carga en otra se denomina masa.

   c. En ambos casos se asume una distancia entre los objetos físicos.

   d. El campo está asociado y a su vez limitado por el espacio físico existente entre los cuerpos físicos (cuerpos, masas).

   Con todo, la exposición lineal de los contenidos que lleva a cabo Daniel se hace sin considerar los "…saltos cualitativos ni los problemas que dieron lugar a nuevos conceptos de mayor poder explicativo" (Furió y Guisasola, 1997, p. 264).

4. El campo eléctrico se explica con nociones asociadas a la interacción eléctrica entre partículas, acudiendo a perspectivas de orden micro- (par electrón-núcleo) y macro- (Tierra-Luna), en que no se explicita la reflexión por el papel del medio (nivel I).

**Tabla 22.** CDC Contenidos en relación con la hipótesis de progresión

| Nivel I (no reflexivo) | Nivel II (reflexivo lógico) | Nivel III (innovador) | Nivel IV (reflexivo integrador) |
|---|---|---|---|
| El campo eléctrico depende de la idea de fuerza y de espacio pero no se asocia con fenómenos de interacción eléctrica, sino a situaciones idealizadas de orden micro- y macro-.<br>El relato de la física como producto elaborado por otros y acabado, indica que los contenidos deben ser transmitidos y no construidos. | Demanda curricular de uso del concepto de fuerza y principio de superposición.<br>La analogía no distingue la perspectiva epistemológica acción a distancia frente a campo. Se alude a la existencia del campo y su rol como generador de fuerza, pero también se considera la carga como generadora de fuerza y de campo. | n. a. | n. a. |

**Nota:** Fase de acción: sesión de clase sobre campo eléctrico.

## Resultados y análisis del componente Actividades

Las actividades de clase se centran principalmente en la repetición y adaptación de instrucciones en el marco de un proceso de revisión de tareas anteriores, que permite a Daniel ir contrastando aprendizajes, y reforzándolos con propósitos de avanzar en el tratamiento de los temas. Dado que las actividades de los estudiantes están mediadas por el relato que hace Daniel de los temas, en este caso las acciones de representación del campo a través de analogías, resulta relevante que puedan ser replicadas por estos en los ejercicios de lápiz y papel. Adicionalmente, las actividades de representación del campo por medio de las líneas de fuerza también soportan o coadyuvan a la credibilidad del relato de Daniel sobre el origen de estas, lo cual resulta ser el núcleo alrededor del que se hacen las demás tareas en la clase. Allí figuran las explicaciones sobre las placas paralelas y las líneas de fuerza para este y los demás casos de cargas puntuales en el espacio, situación que se complementa con el de las cuatro cargas puntuales alrededor de una quinta, a manera de reto y en el que los estudiantes se involucraron proponiendo alternativas de configuración del campo.

### *Revisar tareas*

Cuando la tarea está asociada a la solución de ejercicios, Daniel procura mantener la rigurosidad en el seguimiento y cumplimiento de estos, por ejemplo cuando en la clase les recuerda que él se los "había dejado" y por tanto lo más lógico es esperar que se "¡los entreguen ya!" [CLA-001] Sin embargo utiliza las ideas de los estudiantes como punto de partida del desarrollo del ejercicio de tarea interrogándolos acerca de los pasos para cumplir con el proceso de solución, por ejemplo cuando un estudiante manifiesta que "la única fórmula que hay es la de Coulomb… dice que la fuerza igual a $q$ por $q$ sobre el $r$ el radio al cuadrado ¿cierto?…", [CLA-004] Y decide validar esta información procediendo a preguntar, "¿pero, cuáles son?... por eso le dije aquí, que las leyes de Newton… ¿Se acuerda?… Aquí la tiene que aplicar, con la fuerza eléctrica también incluida…" [CLA-007]. Con ello evidencia una manera de generar el diálogo sin brindar información específica de cómo debe hacer el estudiante para resolver el ejercicio con las leyes de Newton, es decir, supone que los estudiantes deberán hacer la extrapolación entre estas leyes y el caso de la fuerza eléctrica.

Al revisar los ejercicios que había asignado previamente, Daniel parece reflexionar sobre lo inesperado que resulta que los estudiantes no hayan podido con estos ejercicios: "Entonces, este es uno de los yo pensé que se les iban a complicar, entonces cuántos, ¿cuántos hizo usted?…" [CLA-007]. Esto sugiere que la tarea asignada tenía un presupuesto de dificultad esperado por él. De esta manera, cuando los estudiantes no pueden hacer la tarea la actividad de la clase consiste en que el profesor practicante explica algunos ejercicios que, a juicio de los primeros, son difíciles, sin embargo para que él pueda llevar a cabo esta actividad requiere la atención de

todo el grupo, por eso los inquiere diciéndoles: "Me dicen cuando ya empiece…// ±, entonces ¿qué dice el uno?" [CLA-029].

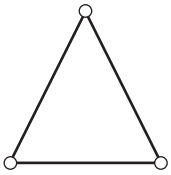
Ahora bien, esta actividad de explicación no es ajena a ejercicios similares que ha planteado con anterioridad, situación que le permite recordarles con frecuencia a los estudiantes: "Por eso le dije aquí, que las leyes de Newton… ¿se acuerda?… aquí la tiene que aplicar, con la fuerza eléctrica también incluida" [CLA-007]. De esta manera, utiliza los ejercicios que planteó con anterioridad como herramienta para que los estudiantes actúen en clase y se muestra interesado en ayudar como parte de un proceso de negociación, en particular destacando el papel de las leyes de Newton en la comprensión de la ley de Coulomb.

### *La explicación*

Dado que Daniel toma como perspectiva explicarles a los estudiantes "[…] el ejercicio como es, porque si lo hago no tiene la gracia… ±…", la actividad de clase no consiste, necesariamente, en resolverles al detalle el ejercicio, sino desvelar una lógica tanto de interpretación como de solución que le sea consistente. Informa estas lógicas y los estudiantes deberán usarlas como herramientas. Veamos lo que involucra este proceso para resolver el ejercicio:

Daniel utiliza un gráfico (ver figura 40) para recrear la situación planteada por el ejercicio en discusión, que complementa con preguntas específicas tales como "¿qué fuerzas actúan ahí?", "¿qué fuerza actúa?", "¿qué fuerzas actúan sobre la carga?", "¿cuál sería la fuerza total sobre las cargas?" [CLA-042], y aclara conceptos asociados como "el triángulo equilátero… diciendo que los ángulos son iguales" [CLA-042], para luego cuestionarlos sobre el signo de las cargas, la determinación de la fuerza, así como de la fuerza neta.

**Figura 40.** Dibujo de Daniel para complementar la explicación del ejercicio sobre cargas eléctricas en el triángulo



Esta forma de proceder se reitera con otros ejercicios [CLA-043 a CLA-087] que habían sido dejados de tarea, en particular en el ejercicio de las tres cargas colineales (ver figura 41). Acude adicionalmente a mencionar la importancia de considerar los diagramas de fuerzas en el proceso de solución llamándoles la atención a los estudiantes por la lectura del texto del ejercicio diciéndoles: "Entonces ustedes dibujan las fuerzas… ahí dice que las dibuje…" [CLA-054].

**Figura 41.** Caso de cargas colineales

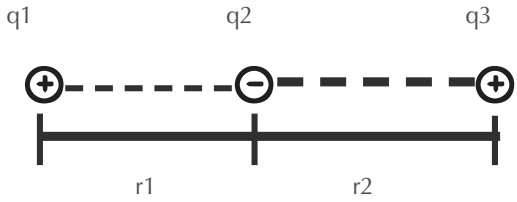
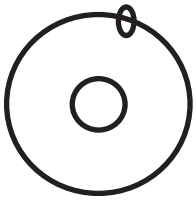
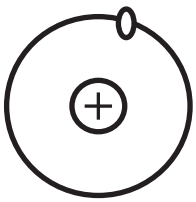



**Figura 42.** Representación de Daniel del campo eléctrico con el sistema Tierra-Luna.



La actividad de explicación del concepto de campo eléctrico se constituye en un relato de Daniel sobre el origen de este concepto en asociación con el campo gravitacional, refiriéndose al "espacio que hay entre una carga y otra; que es lo mismo que analizaban con el campo gravitacional" [CLA-091]. De esta manera, Daniel acude a una referencia impersonal para mencionar cómo otros han elaborado tales explicaciones y, al parecer, su papel consiste en contarlo, proceso en el cual relaciona, mediante la figura 41, el 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], suponiendo, 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.

**Figura 43.** Representación del sistema núcleo electrón (dibujo de Daniel en el tablero



Para Daniel la explicación del sistema Tierra-Luna debido a la existencia del campo gravitacional es análoga a la explicación del sistema núcleo-electrón (ver figuras 42 y 43) 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. Sin embargo este uso de la analogía entre lo macro- y lo micro- comparten una perspectiva de acción entre cuerpos y no de interacción entre cada cuerpo y el campo. Al respecto conviene mencionar que Llacanqueo *et al*. (2003) advierten sobre la necesidad de reflexionar que:

> La teoría de la relatividad mantiene la idea de Maxwell que la interacción mutua entre las partículas se puede describir mediante el concepto de campo de fuerzas, es decir, en vez de hablar de la acción de una partícula sobre otra, afirma que una partícula crea un campo en torno de ella, entonces una fuerza determinada actúa sobre cada una de las otras partículas situadas en ese campo [...] En consecuencia, no se puede hablar de una interacción directa entre partículas colocadas las unas de las otras a cierta distancia, sino se debe hablar en cambio, de la interacción de una partícula con el campo y de la posterior interacción del campo con otra partícula (Landau, 1992; Einstein, 1995) (Llacanqueo *et al.*, p. 229).

## *Las líneas de fuerza: explicación por autoridad*

La explicación de Daniel sobre las líneas de fuerza se hace de manera nominal, sin dar argumentos o razones. Así, a las cargas, según su signo, se les asignan líneas de fuerza que salen o líneas de fuerza que entran (ver figura 43). En este proceso la carga eléctrica se dibuja en el tablero en forma circular y las líneas de campo le pertenecen a la carga dependiendo de su signo.

**Figura 44.** Representación de líneas de campo asociadas a cada carga (dibujo en el tablero por Daniel

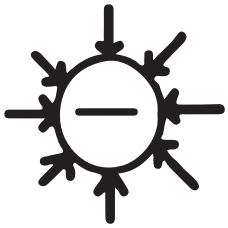
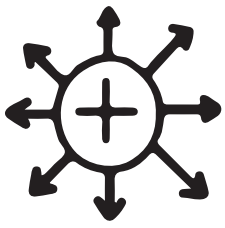
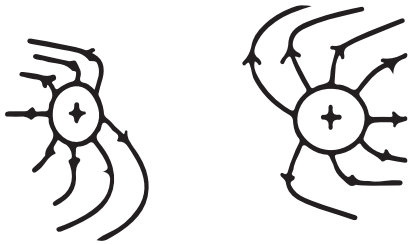


**Figura 45.** Representación de líneas de campo asociadas a cada carga (dibujo en el tablero por Daniel



Adicionalmente, 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 estas. Es decir, no hay una limitación de las líneas al espacio que se encuentra entre las cargas.

**Figura 46.** Representación de líneas de fuerza para dos cargas puntuales positivas (dibujo en el tablero por Daniel

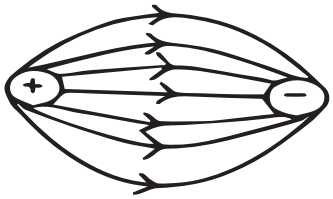


Asimismo, para Daniel es importante que los estudiantes recuerden el efecto producido sobre dos cargas del mismo signo cuando estas se acercan. En efecto él comenta que "porque nosotros decíamos que… cargas del mismo signo… y esto era la muestra, de que se repelían" [CLA-103], y para darle un mayor sentido a su explicación 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]. De esta manera la idea de repulsión es asociada a la representación del sentido de las líneas de fuerza (ver figura 44) y podría ser ratificada si se hace el experimento que relata, o más bien se le puede dar credibilidad a su relato y asumirlo como acto de fe.

## *Ejercicio de lápiz y papel, la regulación de las ideas*

El estudio de las placas paralelas y el campo eléctrico fue asignado por Daniel como un ejercicio de lápiz y papel: los estudiantes oyen la pregunta, "bueno… ustedes ¿qué creerían que pasaría en dos placas cargadas de diferentes maneras, o sea, una positiva y una negativa?" [CLA-113]. Cuando un estudiante pasa al tablero y dibuja su propuesta Daniel le afirma: "¡Dos placas, dos placas, placas, placas!… ¿entonces que serían placas?..." [CLA-122] y, dado que no encuentra ningún cambio en la representación que el estudiante hizo con su idea de "placas" (como dos partículas cargadas, ver figura 47), procede a dibujárselas aclarándole que "si quiere le hago las placas y usted, y usted me dice qué sería lo que pasaría… [borra el dibujo que había hecho el estudiante enfatizando que son placas]…" [CLA-122].

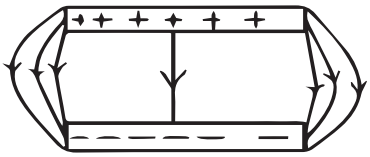
**Figura 47.** Dibujo del estudiante en el tablero



En esta situación Daniel no pregunta al estudiante sobre su concepto de placa y más bien decide seguir brindándole información, por eso termina dibujándole las placas. No hay contrapreguntas que indaguen por el concepto de placa en los estudiantes.

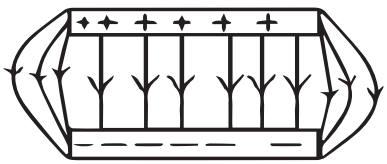
Ahora bien, dado que el estudiante asimila que la mayor cantidad de líneas de fuerza solo salen y entran por los extremos de las placas, asignando solo una línea de fuerza entre las placas (ver figura 48), la actividad de Daniel es de carácter correctivo diciéndole:

**Figura 48.** Dibujo del estudiante a manera de respuesta



"Hágalas todas, todas las líneas… // ¿Acá entonces hay una sola línea?…// [señala en el tablero las líneas que se deben completar] ¡A bueno!, eso es lo que le digo, haga más, no las de afuera, sino las de adentro… [Regresa nuevamente con el estudiante al cual estaba atendiendo]" [CLA-128].

**Figura 49.** Dibujo modificado del estudiante



De esta manera, el proceso de explicación de las placas paralelas está mediado por la interacción con los estudiantes, pero desde una perspectiva más bien correctiva, en la que estos últimos deben ir adivinando lo que Daniel quiere que se represente y asimismo siguiendo las instrucciones. Adicionalmente, nótese que al inicio el estudiante dibujó tan solo una línea de fuerza dirigida desde uno de los símbolos (+) hacia su correspondiende signo (-) de enfrente, tal como si fuera la misma representación de dos cargas puntuales que se habían hecho antes en la clase.

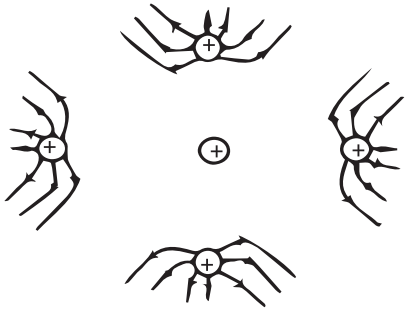
Al respecto Törnkvist *et al.* (1993) han planteado que esta relación entre las representaciones del vector fuerza y del campo eléctrico que hacen los profesores, resultan trascendentales en las que posteriormente hacen sus estudiantes. Así, las representaciones vectoriales terminan siendo imitaciones de las que el profesor hace en clase o tienen un sesgo hacia la idea de fuerza, y en este sentido esta actividad refuerza las visiones que Daniel tiene sobre los contenidos, en particular sobre las relaciones entre campo eléctrico y fuerza.

## *Atendiendo las preguntas de los estudiantes*

Daniel decide compartir la inquietud de un estudiante con todos y asignarla al grupo, y aprovecha este momento para llamar la atención a otro que no está atendiendo las explicaciones, lo que también evidencia que estas cumplen un papel central en las actividades de Daniel, así como la correspondiente actitud de atención del alumno. Al respecto él le comenta a este:

"…// Su compañero está haciendo una pregunta acá y va para…// ¡Y lo voy a parar a usted!, ¡al que está levantado allá!… ¡para que me haga una hipótesis de esa pregunta!, ±…// Nos dice que tenemos cinco partículas positivas...// ¿Qué pasa con esas partículas… o cargas...?" [CLA-134]. Un análisis complementario de las respuestas de los estudiantes a esta situación de las cinco cargas se discutirá posteriormente.

**Figura 50.** Dibujo elaborado por el estudiante, producto de la pregunta planteada a Daniel



La decisión de compartir la pregunta (ver figura 50) se convierte en una nueva actividad de clase que es aprovechada por Daniel en el plano de la interacción con sus estudiantes. Por un lado, la pregunta recoge representaciones de líneas de fuerza para cargas puntuales y, por otro lado, sirve para *llamar al orden* asignándola a un estudiante.

## *Cerrando la clase*

Para finalizar la clase el profesor practicante asigna una serie de ejercicios que se entienden como *aplicación de lo visto*. El primero hace referencia a placas colocadas en un mismo plano, dos continuas de signo positivo y una tercera de signo negativo (ver figuras 51, 52 y 53).

**Figura 51.** Tarea de Daniel, ejercicio 1a

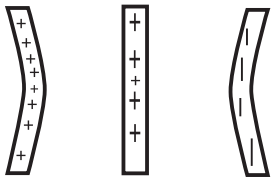


**Figura 52.** Tarea de Daniel, ejercicio 1b

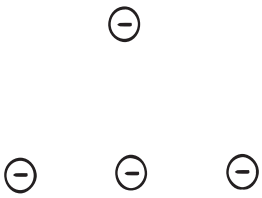
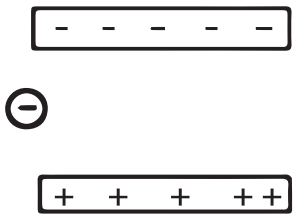


**Figura 53.** Tarea de Daniel, ejercicio 1c



El segundo es una situación de cargas eléctricas puntuales donde se tiene un triángulo compuesto por cargas de signo negativo en los extremos y una partícula del mismo signo ubicada en medio de las dos de la base del triángulo, y por último una situación de dos placas paralelas de signo diferente a las cuales se aproxima (en medio de las dos placas) una partícula de signo negativo en la que Daniel hace una serie de especificaciones a modo de pregunta acerca de la tendencia de movimiento de la partícula. (Llama la atención que en este ejercicio no haya una correspondencia con una explicación previa de su parte acerca de las cargas en movimiento dentro de un campo eléctrico dado). En este caso él no aclara cómo se podría tener

tal situación en un laboratorio, por ejemplo, lo cual implicaría la presencia de una batería conectada a las placas a la manera de un circuito eléctrico. Sin más, esta actividad se constituye en el cierre de la clase como ejercicio de lápiz y papel frente a la cual los estudiantes deben comenzar a hacerla en sus cuadernos.

### *Aportes a la hipótesis de progresión*

Por último, en la intención de caracterizar el CDC del profesor con base en la hipótesis de progresión, para el componente de Actividades se observa que:

1. Las actividades de la clase se organizan mediante la siguiente secuencia:
   a. Revisión de la tarea: a manera de exigencia.
   b. Explicación de Daniel (de los ejercicios, de las definición de campo eléctrico, de las líneas de fuerza).
   c. Ejercicios de lápiz y papel.
   d. Asignación de tarea.
2. Se acude a la explicación de los temas como actividad preponderante; en ella Daniel comunica la información mediante un discurso impersonal, a manera de relato o contador de la historia de los científicos. En este proceso se acude a la analogía como actividad explicativa del campo eléctrico con pares electrón-neutrón y Tierra-Luna.
3. La explicación de las líneas de fuerza se acompaña de las representaciones de cada distribución según el caso, cargas puntuales o placas paralelas. Estas representaciones son para que los estudiantes "vean" y repliquen.
4. La explicación también tiene una directiva: poner atención para detectar la lógica en la que Daniel interpreta los ejercicios y su proceso de solución, para así demandar a los estudiantes que repliquen la estrategia mostrada.
5. Se supone que las actividades sirven para aplicar la teoría, en particular las leyes de Newton asociadas a la ley de Coulomb, así como el caso de las líneas de fuerza para cargas puntuales para el caso de las líneas de fuerza en placas paralelas.
6. Las actividades por lo tanto también regulan las ideas de los estudiantes en relación con la información brindada por Daniel.

Por último, respecto a la relación entre estas respuestas y la hipótesis de progresión se manifiestan indicadores en el nivel no reflexivo.

**Tabla 23.** CDC Actividades en relación con la hipótesis de progresión

| Nivel I (no reflexivo) | Nivel II (reflexivo lógico) | Nivel III (innovador) | Nivel IV (reflexivo integrador) |
|---|---|---|---|
| La instrucción se le brinda al estudiante y si no la comprende se le da de nuevo, corrigiéndolo, pero no indagando el porqué de su respuesta. Se requiere la atención del estudiante.<br>El estudiante tiene ideas erróneas que hay que corregir.<br>La actividad de explicación del profesor se asume como un relato impersonal de resultados, en el que la analogía fue construida por otros.<br>La tarea se demanda, se exige, se contribuye en explicarla, sin embargo la tarea es la aplicación de contenidos curriculares precedentes, hay entonces una demanda curricular, y en particular respecto a las leyes de Newton, el principio de superposición, la fuerza y la ley de Coulomb.<br>Hay que poner cuidado a la explicación de Daniel para replicar la lógica de solución, quien interpreta el ejercicio es el profesor llamando la atención sobre sus componentes. La analogías como actividad se movilizan en pares Tierra-Luna, núcleo-electrón.<br>Hay un uso reiterado de figuras y diagramas que permiten "ver". | n. a. | n. a. | n. a. |

**Nota:** Fase de acción. Sesión de clase sobre campo eléctrico. Actividades.

## Resultados y análisis del componente Ideas de los Estudiantes

Las ideas de los alumnos se estudian en aquellas unidades de análisis en las que Daniel interactúa con ellos ya sea por preguntas que le formulan o él les hace. En esta clase se presentaron eventos de interacción asociados a las tareas asignadas en clases anteriores, en particular sobre ejercicios de carga eléctrica y ley de Coulomb, así como al proceso de enseñanza del campo eléctrico y sus representaciones con líneas de fuerza. En este contexto, para Daniel resulta relevante oír las ideas de sus estudiantes como forma de manejar su perspectiva de enseñanza. Ejemplo de esto son sus acciones al explicar las placas paralelas cuando las ideas de los estudiantes resultan "dispares" con la explicación suministrada por Daniel respecto del caso de dos cargas puntuales. Aunque decide finalmente que las preguntas de

sus estudiantes hay que compartirlas con el grupo, sus interacciones comunicativas evidencian como "compartir" debe fundamentarse en la referencia constante a lo ya explicado, específicamente a lo analizado respecto a las distribuciones propias en cargas eléctricas del mismo signo y a las limitaciones de la representación del campo con líneas de fuerza, especialmente en lo que a las intersecciones de estas se refiere. En este sentido, para Daniel también existe una perspectiva causal lineal del aprendizaje, por medio de las acumuladas en el estudiante.

**-***Oír las preguntas*. Al comienzo de la clase Daniel oye las ideas de los estudiantes en relación con las dificultades al hacer los ejercicios:

> D.— ¿¡Cuál fue el que no entendía ahí!? [Daniel se dirige a un estudiante para atender las preguntas que tiene este acerca de los ejercicios en cuestión].
>
> E.— La verdad es que no, los que leí no sabía cómo hacerlos… la única fórmula que hay es la de Coulomb… que dice que la fuerza es igual a q por q sobre el r el radio al cuadrado ¿cierto?…
>
> D.— * Pero ¿cuáles son?
>
> E.— La de las fuerzas….
>
> D.— ¿Casi todo, no?…// Por eso le dije aquí, que las leyes de Newton… ¿Se acuerda?… Aquí la tiene que aplicar, con la fuerza eléctrica también incluida…// Entonces, este es uno de los que yo pensé que se les iban a complicar, entonces cuántos, ¿cuantos hizo usted?…
>
> E.— Cómo…
>
> D.— ¿¡Pero, si los leyó y los miró!?...
>
> D.— Bueno, ustedes si los hicieron, ¿sí?…// [Daniel se mueve de lado a lado del salón dirigiéndose a los estudiantes] ¿Cómo?…// Nooo, yo les dije que conmigo… que el miércoles era conmigo… pero de todas maneras yo les dije, tráiganme los ejercicios… entonces, lo que yo quería ver es que si necesitaban preguntas o ¿no? Ah, bueno….// ¡Ah, no han hecho ni el primero…! [CLA-003 a CLA-010].

Daniel utiliza las ideas de los estudiantes como punto de partida del desarrollo del ejercicio y, a su vez, los interroga acerca de los pasos para cumplir con el desarrollo de este. El proceso le genera una reflexión acerca de la exigencia de la tarea en relación con la ley de Coulomb, en especial cuando les solicita que conecten el proceso al uso de las leyes de Newton. Por tanto, las ideas de los estudiantes son consideradas en atención a sus demandas para resolver la tarea, y siguiendo una lógica en la que Daniel hace preguntas, pero no soluciona estrictamente el ejercicio. Una explicación de esta secuencia [CLA-003 a CLA-010] se da como sigue:

a. Daniel juzga las razones de la comprensión ("¿Cómo que no entendía?", ¿¡Cuál fue el que no entendía ahí!?).

b. Aunque el estudiante indique las razones de la incomprensión asociadas a la existencia de la fórmula, Daniel se centra en indagar los ejercicios concretos que causaron dificultad.

c. Las afirmaciones de los estudiantes son explicadas por la falta de integración de los contenidos (leyes de Newton con ley de Coulomb).

d. Se deja a un lado el argumento del estudiante para indagar sus concepciones o formas de comprender el ejercicio.

En este sentido, la construcción de explicaciones sobre preguntas de los estudiantes es guiada por Daniel mediante cuestionamientos orientados a caracterizar la situación utilizando contenidos tratados en momentos anteriores. Así, en el caso de la pregunta sobre las líneas de fuerza en dos cargas negativas se genera el siguiente evento:

> E.— … ¿En las dos cargas diferentes, las negativas entran?, ¿cómo quedarían si las dos fueran negativas? [estudiante señalando al tablero; el docente observa detenidamente].
>
> D.— ¡Buena pregunta!//… ♣♣♣ [se dirige hacia el tablero].



> Entonces, tenemos las dos negativas… las líneas entran, ¿cierto?…// ¿Qué pasaría?...
>
> E.— Se repelen.
>
> D.— Pero ¿cómo serían las líneas entrantes a cada uno?
>
> E.— [Daniel presta atención a las respuestas de los estudiantes y posteriormente se dirige al tablero].
>
> D.— ¿Entran?, ¿entran cierto?, ¿entra?, ¿entra cierto?… ¡entra! ¡Entra! ±…



> //^^^…. Ustedes hicieron todas las analogías posibles para estas líneas de campo…/ [CLA-108 a CLA-113].

Dado que en este evento los estudiantes, al ser inquiridos por Daniel acerca de las líneas de fuerza para las dos cargas negativas, responden asertivamente que las cargas se repelen, él valida esta idea y la utiliza como base para preguntar por la representación específica de las líneas. Aquí puede existir una doble interpretación sobre la idea de repulsión, por un lado que las cargas del mismo signo se repelen,

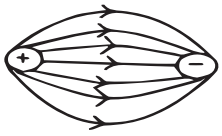
y por otro lado son las líneas de fuerza las que se repelen pues pertenecen a cargas del mismo signo.

## *Explicando las placas paralelas*

El trabajo con ejercicios de representación del campo eléctrico en el caso de placas paralelas se desarrolla como sigue:

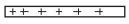
D.— //^^^…. Ustedes hicieron todas las analogías posibles para estas líneas de campo…// [mira al tablero tratando de que sus estudiantes le sigan la mirada y así tengan un referente]. Entonces, bueno… ustedes ¿qué creerían que pasaría en dos placas cargadas de diferentes maneras o sea, una positiva y una negativa…?

E.— [Un estudiante pasa al tablero y responde con un grafico, se escuchan gritos de estudiantes apoyándole.]




[Dibujo hecho por el estudiante en el tablero]

D.— ¡Dos placas, dos placas, placas, placas!… entonces, ¿qué serían placas?..., si quiere le hago las placas y usted, y usted me dice qué sería lo que pasaría… [Borra el dibujo del estudiante]…



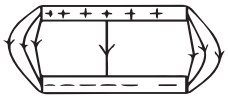


D.—

[Dibujo hecho por Daniel en el tablero]

D.— ±, ¿Qué pasaría ahí?…

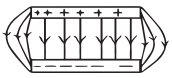
E.—



[Dibujo hecho por el estudiante a manera de respuesta]

D.— Haga todas las líneas… // ¿Acá entonces hay una sola línea?…// [señala en el tablero las líneas que se deben completar] ¡Ah, bueno!, eso es lo que le digo, ¡haga más, no las de afuera, sino las de adentro!…

E.—



[CLA 113-CLA-128]

El estudiante manifiesta un concepto de placa en relación con lo analizado previamente en clase con cargas puntuales, ya que en ella se había estudiado el caso de dos cargas de diferente signo, por lo tanto aplica la misma lógica en su representación. Sin embargo Daniel se centra en la urgencia de representar las placas dejando a un lado lo que puede estar pensando el estudiante acerca de estas, en especial la comparación con el caso de cargas puntuales, puesto que el estudiante interpreta las placas como puntos, pero la representación de las líneas es similar —y correcta— a la hecha anteriormente. Esto quiere decir que consideró la respuesta como errónea y decidió borrarla para posteriormente plasmar la idea por sí mismo en el tablero mediante una figura.

Ahora bien, dada la ausencia de respuesta explícita por parte del estudiante a la pregunta "entonces ¿qué serían placas?" [CLA-122], se puede inferir que se le ha puesto en condición de tratar de adivinar lo que Daniel quiere decir con la palabra "placas". Luego de su corrección (al dibujar las placas) el estudiante procede a dibujar las líneas de fuerza existentes entre las placas, trazando una sola línea en el espacio comprendido entre ellas, a lo cual el profesor practicante le sugiere hacer todas las líneas de la parte interna de las placas. Este proceso se hace a través de la pregunta: "¿Acá entonces hay una sola línea?" [CLA-128] y del imperativo, "¡haga más, no las de afuera, sino las de adentro!" [CLA-128]. Es decir que las ideas de los estudiantes tiene una utilidad relativa con el contenido temático tratado y, además, se pueden guiar por medio de preguntas o de órdenes.

### *La pregunta de las cinco cargas*

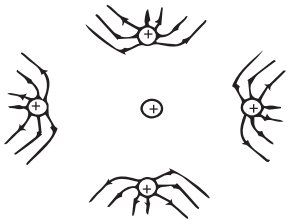
Por solicitud de un estudiante, el profesor practicante le siguiere que pase el tablero y plantee a todo el grupo su pregunta sobre las cinco cargas eléctricas. Esta situación se aprovecha para llamar la atención a otro alumno que no está atendiendo las explicaciones. Lo particular de la pregunta del estudiante es que rompe con el paradigma de la dualidad de cargas, o de placas, que se había trabajado durante la clase y, además, brinda la posibilidad de la representación como un mecanismo de interpretación de los posibles efectos sobre las cargas; Daniel interroga a los estudiantes acerca de la solución del problema planteado.

La secuencia del evento es la siguiente:

E.— … Profe, ¿qué pasaría si fueran cinco partículas positivas… las partículas positivas//… ¿Cómo serían las…?

D.— ¿Las líneas de campo?.../// Si cambiamos todas…// Venga... ¡venga!, ¡venga!… [Se dirige hacia el tablero haciendo entrega del marcador al estudiante para que este plantee el ejercicio mediante un gráfico o dibujo].

E.— ?



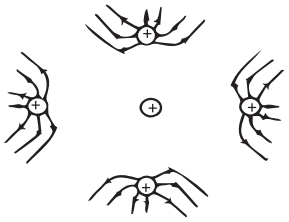
[Dibujo hecho por el estudiante que pasa al tablero]

D.— Entonces… ¡silencio!…// Su compañero está haciendo una pregunta acá y va para…// ¡Y lo voy a parar a usted!, ¡al que está levantado allá!… ¡para que me haga una hipótesis de esa pregunta! ±…// Nos dice que tenemos cinco partículas positivas.../// ¿Qué pasa con esas partículas… o cargas...?

E.— ? [respuesta inaudible]

D.— ¡Vaya pensándolo, que ahoritica lo pasó…!

E.— ?



[El estudiante hace el gráfico de la pregunta que le causa inquietud]

D. Listo, déjelo así… ¿Qué cree que pasa con esta partícula?.../// 

Tenemos los campos, ** las líneas de campo.../// 

¿Cómo serían las líneas de campo, para esta partícula?

[Daniel interroga al estudiante señalando la partícula central en el ejercicio del tablero]

D.– ¿Por qué serian así?... ¡Es que la pregunta es ésta, déjenlo a el!

D.– ¿Qué pasa con las líneas de campo de esta?

E: ? Pues…

D.— Pero ¿con las líneas de campo que pasaría?

D.— Estamos hablando de líneas de campo...// ¡Son positivas!, ¡ojo!...// o sea, ¿cómo estarían dadas esas líneas de campo? [Daniel discute con un grupo de estudiantes acerca de su hipótesis del ejercicio mirando al tablero].

E.— ? Pero digamos es en círculo, esto también no tendría líneas de…

D.— Cargas ele…** cargas positivas, cargas positivas...

E.— ☺ Bueno, sí, hacia acá, o sea…

D.— Entonces, que es lo que, lo que le estaba diciendo allá, [Daniel señala lo explicado durante el transcurso de la clase] con las cargas positivas, ¿si ve?, se abren…// [dirigiéndose al grupo en general] ¡Se abren harto, harto!…// ¿Qué cree que pasaría con las líneas de campo de esta?…

E.— ? Se abren hacia afuera todas.

D.— Hacia afuera, perooo… Dibújelas. ¿Cómo creería que quedarían?

E.— ? Podría ser que se abren hacia donde estas cargas son más débiles…

D.— Entonces… estas las desvían, estas las desvían, estas las desvían, estas las desvían, estas las desvían… ¿hacia dónde irían?… ¿Sí me entiende?…

D.— ¿Qué hacen? Se tenderían a ir a la mitad…// ¡Ojo, que esta tiene más líneas!

E.— ?

D.— Bien, ¿sí me entiende la pregunta?, ¿hacia dónde irían las cargas?… // ¡vaya analizándolo allá!...// ¿Entonces qué opinan ahí?, ¡silencio!… ¿qué opinan ahí…?

E.— ? La carga de la mitad va para todos los lados.

D.— Pero, ¿cómo sería la línea de…?

E.— ¡Como un solecito!

D.— ¿Un qué?

E.— Un solecito, un sol.

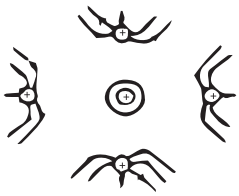
D.— ¿Cómo un sol?… Yo no le entiendo cómo sería ahí… [se mueve de lado a lado y señala a un estudiante invitándolo a que pase al tablero mediante una serie de gestos] ¿Si sabe?

E.— ? Como una flor.

E.— ¡Un círculo!

D.— Pero ¿sería un círculo?

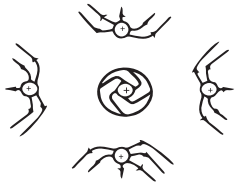
E.—



[Dibujo hecho por el estudiante que pasa al tablero]

D.— Pero saliendo de la mitad… exactamente, pero de la mitad..// Saliendo de la mitad, porque también salen desde acá... sería algo como así, ¿cierto?… Pero así… y acá una línea, y acá otra línea, ±…

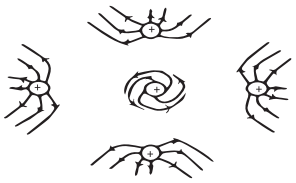
E.—



[Dibujo hecho por un estudiante que pasa al tablero]

D.— Que no se peguen…±, no se pegan, no se pegan, ojo con eso… [señala al tablero constantemente para que el estudiante reconozca el error en el desarrollo del ejercicio].

E.— ?



[Dibujo hecho por un estudiante que pasa al tablero]

D.— … ¿Solecito?, ¿quién dijo solecito?…// ¿Eso es lo que usted está diciendo?...

E.— ?

D.— ¡Siéntese!, ¡siéntese ya!…// [Desplazándose constantemente de un lado a otro y a su vez dirigiéndose a los estudiantes] Bueno…, entonces, un compañero nos dio

> una respuesta que está acorde con lo que hemos hecho, ¿cierto?…// Estas líneas van a desviar a estas líneas…// [las primeras líneas que señala son las de las cuatro cargas de alrededor y las segundas son las líneas de la carga central]. Entonces van a tender, a ser como forma de círculo, o como dice, el solecito, [señalando al estudiante que brindo la idea de cómo solucionar el ejercicio anterior] ±...// Entones, ya como vimos hay diferentes formas de manejar esas líneas de campo, ±…// [Señalando constantemente el tablero y a su vez dirigiéndose a los estudiantes] [CLA-131 a CLA-171].

Como se aprecia, los estudiantes brindan ideas acerca de la representación de las líneas de campo de la partícula ubicada en el centro de las otras cuatro cargas con el mismo signo que la central. En este punto Daniel retoma el tema que acaba de explicar acerca de las cargas positivas, lo cual debería ser interpretado por los estudiantes como una pista para la solución del ejercicio, a su vez, estos últimos replican mediante palabras sueltas a modo de respuesta, en las cuales es notoria la necesidad de aclaración de la pregunta hecha por Daniel, quien afirma que las cargas que se están estudiando "¡Son positivas!, ¡ojo!" [CLA-146], y así, mediante una serie de instrucciones como:

> estamos hablando de líneas de campo [CLA-146],
>
> estas las desvían [CLA-154],
>
> pero saliendo de la mitad… exactamente, pero de la mitad... porque también salen desde acá... sería algo como así, ¿cierto?… [CLA-167].
>
> Que no se peguen… ¡ojo con eso! [CLA-167].

Daniel brinda una guía a los estudiantes que les permite focalizarse en el proceso de solución del ejercicio. Consecuentemente, la idea del estudiante de que las líneas de fuerza se abran todas, exige para Daniel una representación gráfica, por lo tanto lo invita a dibujarlas. Es decir, para verificar o contrastar la idea expuesta por el estudiante, requiere otro tipo de información, como la representación de lo que significa "se abren hacia afuera todas" [CLA-151], como se observa en el evento que se relaciona a continuación:

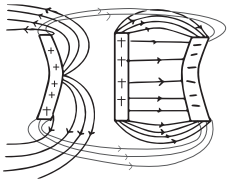
> D.— ¿Qué cree que pasaría con las líneas de campo de esta?…
>
> E.— ⍰ Se abren hacia afuera todas.
>
> D.— Hacia afuera, pero… dibújelas. ¿Cómo creería que quedarían? [CLA-150 a CLA-152].

## *Ideas sobre líneas de fuerza*

En el desarrollo del primero de los ejercicios implementados por el profesor practicante a modo de aplicación del tema, un estudiante tiene la idea de que las líneas de campo se pueden cruzar. Él refuta esta idea mediante la metodología seguida en toda la clase, con preguntas que inducen al estudiante a una idea acerca de la

solución del ejercicio, a pesar de que el estudiante tiene una hipótesis sobre lo que sucede para que las líneas de campo se crucen, asociada a una analogía con dos imanes donde estos se pueden atraer a pesar de que en medio de ellos exista algo que se interponga. Este proceso se genera en el siguiente evento:

[Daniel se acerca al estudiante quien está trabajando en su pupitre]



E.— … de este…

D.— [Señala el gráfico que está en el cuaderno del estudiante] ¡Ojo con lo que le voy a decir!… Si usted dibuja estas líneas así, no tiene que cruzar las líneas…

E.— Ahhhh…

D.— ± Ese es uno de los problemas que tiene acá, entonces, ¿por qué dibuja esas líneas así?… [le señala las líneas amarillas del gráfico]

E.— ¡No!, estas sí, pero las otras igual hay presencia de… ¿sí? O sea, esto también puede… torcerse. [señala las líneas amarillas del gráfico].

D.— ¡Pero entonces sería… o sea… lo que le digo… no se tienen que cruzar las líneas…!

E.— Porque así quedaría algo así, o sea, son dos casos… positivos y uno negativo.

D.— Y la otra es… ¿esta sentirá la presencia de esta [señala tanto la placa de la izquierda como la placa de la derecha] si hubiera una placa en la mitad?...

E.— Pues yo lo tome así, pero no **

D.— Si usted pone… en medio de... dos cargas… algo… ¿se van a atraer?… ¿se van a repeler?…

E.— Pues yo lo tomé así… igual si uno mira…

D.— O sea, usted dice, este sí va a sentir.

E.— Si uno mira con los imanes. ☺

D.— No, no son imanes, ojo… Este va a sentir la fuerza de este, ☺ ¿para qué tienen eso en la mitad?, ☺ esa es su hipótesis, ± o sea, ¡piénselo bien! ± Usted, si usted pone algo en la mitad interrumpiendo eso ¿las siente? o ¿no las siente? ☺…. [CLA-196 a CLA-209].

Daniel aclara: "no son imanes, ojo" [CLA-209], dando a entender que la hipótesis planteada por el estudiante no tiene cabida en el desarrollo del ejercicio y sugiriéndole, por último, que piense en una situación similar de corte mecanicista cuando se interpone un objeto entre dos cargas.

### *Aportes a la hipótesis de progresión*

Por último, con la intención de caracterizar el CDC del profesor, con base en la hipótesis de progresión (ver tabla 24), para el componente de Ideas de los Estudiantes se observa que:

1. Manifiestan indicadores en el nivel no reflexivo mayoritariamente, y en el nivel reflexivo lógico dado que Daniel decide informar los conceptos para que con estos las ideas de los estudiantes resulten contextualizadas a los ejercicios de lápiz y papel que él dispone en la clase.
2. Las representaciones de los estudiantes como fuentes de observación de Daniel sobre las ideas de ellos terminan siendo contrastadas y comparadas con la información que él había brindado en la clase.
3. Las ideas de los estudiantes sobre el campo eléctrico no fueron exploradas inicialmente en el transcurso de la clase, se reconoce que los estudiantes tienen ideas sobre lo que Daniel expone, pero no sobre el campo eléctrico de manera alternativa.
4. Se ha identificado también que las ideas de los estudiantes son consideradas por Daniel como erróneas, de manera que sus hipótesis sean muy poco consideradas excepto para las que coinciden con la solución del ejercicio. Así, las ideas de los estudiantes tienen utilidad relativa con el contenido temático tratado, y además se pueden guiar por medio de preguntas o de órdenes.

**Tabla 24.** CDC Ideas de los estudiantes en relación con la hipótesis de progresión

| Nivel I (no reflexivo) | Nivel II (reflexivo lógico) | Nivel III (innovador) | Nivel IV (reflexivo integrador) |
|---|---|---|---|
| Las ideas de los estudiantes se utilizan para recabar información en relación con contenidos curriculares previos (leyes de Newton).<br>Las ideas de los estudiantes son erróneas en el caso de las "placas", y deben corregirse. | Las representaciones de los estudiantes no solo se deben verbalizar, sino también graficar. | n. a. | n. a. |

**Nota:** Ideas de los estudiantes, fase de acción.

## Resultados y análisis del componente Evaluación

Este componente de la evaluación no se hace explícito de manera concreta en la sesión de clase del campo eléctrico, situación que exige escudriñar algunas de las unidades de análisis de la transcripción que revelan el sentido de la evaluación que le es inherente a la interacción comunicativa entre Daniel y sus estudiantes. Adicionalmente se presenta el análisis del segmento de la evaluación escrita que Daniel les asigna a sus estudiantes sobre el campo eléctrico en una sesión posterior.

En este proceso la indagación de las ideas de los estudiantes resulta ser una forma de ir evaluando en Daniel, haciendo énfasis en un proceso de contraste entre lo que ha visto en cursos anteriores de Física (fuerza, leyes de Newton, vectores, diagramas de cuerpo libre, superposición, etc.), y lo que se trabaja en clase, para este caso el campo eléctrico para cargas puntuales y placas paralelas. La evaluación como proceso también acude a la revisión de las tareas asignadas en clases anteriores, situación que es aprovechada por Daniel para juzgar o valorar qué tanto aplican lo visto. Esta perspectiva es acompañada por preguntas y advertencias acerca de quién es el responsable de resolver los ejercicios de lápiz y papel, y demuestra cómo existe un centro en el proceso de evaluación: los contenidos conceptuales, la memoria y la reproducción de acciones enseñadas.

### *Evaluar con base en prerrequisitos*

La manera como Daniel responde las preguntas de sus estudiantes en la clase revela la elaboración de juicios de valor sobre el conocimiento de estos, en particular cuando juzga las razones de la incomprensión [CLA-003] asociada a la falta de integración de los contenidos por parte de los estudiantes [CLA-007], es decir, que un conocimiento previo como lo son las leyes de Newton, tiene que aplicarse o integrarse al análisis del ejercicio sobre la ley de Coulomb por medio de un concepto de fuerza que actúa como vínculo.

### *Evaluar el cumplimiento*

Daniel, dentro del proceso que sigue en la clase de campo eléctrico, y con base en la explicación previa del tema (ley de Coulomb), asignó unos ejercicios. Él utiliza diversas actividades valorativas, entre ellas estos ejercicios, los cuales forman parte del proceso de evaluación que implementa en las clases; estos deben ser entregados en la siguiente clase, así, en caso de surgir algunas dudas por parte de los estudiantes puede solucionarlas de manera oportuna.

Se evidencia la necesidad por parte de Daniel de que los estudiantes hagan entrega de dichos ejercicios, en especial cuando les dice: "Necesito que los entreguen ya" [CLA-1]. Ante la insistencia de la entrega inmediata, se da por entendido que estos van a tener algún tipo de nota dentro de las actividades puestas por Daniel, y que forman parte del proceso de evaluación, ya que decidió advertirles, "yo no

les voy a rebajar eso" [CLA-15], no obstante les concederá un tiempo para que los terminen: "Espere les voy a dejar quince minutos, ¡quince minutos! para que miren y hagan los ejercicios, ¡son once!" [CLA-15], y recalca la cantidad.

Ahora bien, posterior a una discusión acerca de la entrega de los ejercicios por parte de los estudiantes, Daniel decide hacer algunas especificaciones y aclara: "¡Yo no les voy a hacer todos los ejercicios!…// Díganme los que ustedes necesitan… // Que ustedes digan qué… // ¡Voy a aclarar tres!, ¡ya!… // para empezar clase de una vez… Y para mañana me traen esos ejercicios, ±" [CLA-39], y finaliza cediendo en cierto modo, dando a entender la intención de que los estudiantes obtengan una buena nota ya que da un plazo para que entreguen los ejercicios el día siguiente.

### *Evaluar lo informado*

En el transcurso de la clase Daniel inquiere el aprendizaje de los estudiantes mediante preguntas, por ejemplo, "¿cómo serían las líneas de fuerza de un campo negativo?" [CLA-99]. Sobre el sentido de las líneas de fuerza, partiendo de la información que se les ha brindado acerca de las líneas de campo para el caso positivo, busca que se apliquen las convenciones generales que él aplicó en una distribución de dos cargas positivas, además, con la pregunta, Daniel busca verificar los aprendizajes dados en la clase, la cual consiste en una forma indirecta de evaluar a los estudiantes sin necesidad de la intervención del lápiz y el papel. La inmediatez de la pregunta que hace el estudiante es utilizada por el profesor practicante como un mecanismo de advertencia frente a las posibles preguntas que él haga posteriormente en un proceso de evaluación en el cual se use lápiz y papel.

### *La previa*

En una sesión posterior a la clase de campo análisis, Daniel asigna la evaluación escrita de electricidad en la cual incluye preguntas sobre campo eléctrico como sigue:

> ¿Cómo es el campo de la siguiente esfera hueca?
>
> ¿Qué es el campo eléctrico? Si es necesario hacer analogías las hacen.
>
> ¿Qué son líneas de campo eléctrico? Si es necesario dar ejemplos para explicar hágalos [PRE-1].



Se observa que la propuesta de evaluación tiene un enfoque terminal y asociado tanto a las definiciones como al uso de analogías y líneas de fuerza. Daniel indaga aquí las posibles representaciones del campo eléctrico en el caso de una esfera hueca, sin especificar un punto del espacio ya sea dentro, en la superficie o en el exterior de la esfera. Este ejercicio es típico de los libros de texto universitarios (Serway, 1997, Sears Zemansky, 1981).

Ahora bien, al centrarse en definiciones en las preguntas 2 y 3 al parecer le interesa que los estudiantes expresen el concepto y no sus aplicaciones, situación que se corresponde de manera escasa con lo organizado en la clase de campo eléctrico, en la cual las representaciones de las líneas de campo eléctrico se desarrollaron en diferentes distribuciones (dos cargas puntuales, placas paralelas, cinco cargas puntuales positivas, y además los ejercicios asignados).

### *Aportes a la hipótesis de progresión*

Por último, en la intención de caracterizar el CDC del profesor, con base en la hipótesis de progresión (ver tabla 25) para el componente Evaluación se observa que

1. La evaluación formalmente se ubica en la prueba escrita.
2. La evaluación formal del campo eléctrico se centra en definiciones conceptuales y solución de una situación (la esfera hueca). En este sentido tiene un carácter sumativo relacionado exclusivamente con los contenidos conceptuales.

**Tabla 25.** CDC Evaluación en relación con la hipótesis de progresión

| Nivel I (no reflexivo) | Nivel II (reflexivo lógico) | Nivel III (innovador) | Nivel IV (reflexivo integrador) |
|---|---|---|---|
| Evaluación terminal, la previa de fin del tema de electricidad. Ejercicios de lápiz y papel tipo libro de texto. Definiciones, perspectiva nominal. | n. a. | n. a. | n. a. |

**Nota:** Fase de acción: sesión de clase sobre campo eléctrico y evaluación.

## La sesión de laboratorio

La sesión de laboratorio que Daniel decide asociar con el campo eléctrico se dedica al uso del generador de Van de Graaff (GVDG). En primer lugar Daniel ubica el GVDG en una mesa y, rodeado por sus estudiantes, comenta:

> Entonces, les voy a presentar el generador de Van de Graaff…//
>
> Familiarícense con el…// **
>
> Bueno, básicamente lo que van a hacer o van explicar,
>
> es cómo se va a cargar el Van de Graaff y cuál sería el campo eléctrico dentro y fuera del Van de Graaff, ±. ..
>
> Y qué pasa cuando lo acercamos// Por qué pasa [LAB-14].
>
> ¿Qué pasa de que^^^? [preguntan algunos estudiantes].

> Lo que va a pasar ahí…// No les voy a decir por qué pasa, para qué pasa, ± // Entonces, ustedes lo van a explicar… esta banda es una banda, una banda elástica, que tiene como una polea girando // Entonces, vamos a ver cómo se carga esta banda, como para ver cómo ser carga la bola, ±…// Vamos a ver: campo eléctrico, campo eléctrico dentro y fuera…. ** [LAB-16].

## *Enfoque exploratorio*

El laboratorio tiene un carácter exploratorio; Daniel lleva el GVDG enfrente del grupo de estudiantes y plantea preguntas que resultan poco claras para ellos, sin embargo él insiste en que no asumirá el rol de explicar el fenómeno, sino que son los estudiantes quienes deberán explicarlo, no obstante se da cuenta de que para que los estudiantes puedan responder sus preguntas él debe brindar mayor información, como por ejemplo los componentes del GVDG y el mecanismo de funcionamiento en lo que respecta a la banda elástica, su carga eléctrica y la posterior carga eléctrica de la esfera del GVDG. Acude aquí a la idea de mirar, "ver" lo que sucede, y en tal sentido se podría ver cómo se cargan estos objetos y, asimismo "ver" el campo eléctrico. Es decir que, posiblemente el GVDG se constituye en artefacto mediante el cual se "ven" las cantidades físicas.

Ahora bien, dado que los estudiantes se muestran incrédulos sobre el funcionamiento del GVDG y comienzan a manipularlo, Daniel opta por ser más directivo. Esta situación se ilustra en lo que sigue:

> nosotros ya vimos lo que es carga// Entonces, van a explicar esa carga por fricción y por qué es lo que pasa...// ¡Ojo, ojo!
>
> [Muestra cómo funciona el GVDG y los estudiantes están atentos].
>
> Entonces, ¿qué es lo que pasa?// ¿Si vieron lo que pasa?
>
> [Vuelve a mostrar el funcionamiento del Van de Graaff, porque algunos estudiantes no alcanzaron a ver la descarga] [LAB- 18,20].

Así, con intención de ser exploratorio el laboratorio se convierte en demostrativo, en especial porque Daniel asume el rol de manejar el GDVD frente a sus estudiantes inquiriéndolos sobre la observación de la descarga, para luego insistir en esta al repetir la experiencia de la chispa. En esta actividad experimental "ver" como sinónimo de "concentrar la mirada" resulta relevante para Daniel en el proceso de experimentación al estilo de laboratorio demostrativo. En este sentido se evidencia la "metáfora de la mirada" (Perafán, 2004) en la cual el profesor acude a la necesidad de que sus estudiantes observen centrando la mirada en la chispa, pero que respondan por qué se produce esta en relación con el campo eléctrico. Este sesgo en que se traen las preguntas por parte del profesor y el experimento demostrativo ubica a Daniel en un nivel II de la hipótesis de progresión, dado que el centro de atención lo tienen sus preguntas y sus acciones y no necesariamente las de sus estudiantes.

En un segundo momento del laboratorio con el GVDG, Daniel lanza una nueva pregunta sobre la relación entre la cantidad de carga y el incremento de la velocidad de rotación de la banda. Proceso que se aprecia como sigue:

> entonces, vamos a ver cómo influye la velocidad/
>
> No necesito que me hagan fórmulas, ni resultado, sino…. //
>
> ¿Ustedes creen que la velocidad, carga más esto o no lo carga?//
>
> ¿Por qué al acercarlo se genera el silbato? [LAB-22].

Aquí Daniel también indaga por las explicaciones de los estudiantes acerca del sonido que se oye al acercar la esfera de prueba al GVDG y, como se ha anotado en el anterior segmento, sigue con el protagonismo del manejo del GVDG para formular las preguntas; en particular se centra ahora en la polea:

> La polea…, cómo la polea que está aquí abajo, ±...//
>
> El campo eléctrico de eso…
>
> Ya les dije nada de eso…
>
> [Comentarios dispersos de los estudiantes] …//
>
> ¡No, no, no lo puede tocar!....
>
> [Comentarios dispersos de los estudiantes] … [LAB-23].

Las preguntas de Daniel tienen un carácter concreto sobre lo que los estudiantes observan en el funcionamiento del artefacto, sin embargo estas preguntas son formuladas de manera separada o inconexa con el concepto de campo eléctrico, dado que este concepto surge como algo adicional a cada pregunta. Asimismo, se aprecia un interés porque los estudiantes manipulen estrictamente el GVDG de acuerdo con su instrucción sin lugar para "experimentar" o "probar". En este sentido, hasta aquí, el laboratorio con el GVDG también refleja la intención de él de mantener el control del grupo, de sus acciones y de sus opiniones.

Solo después de haber mostrado el funcionamiento del GVDG, orientando las preguntas y con las debidas advertencias, Daniel deja al grupo para que repitan sus instrucciones y manipulen el artefacto. Cuando un estudiante toca la esfera del GVDG; sus compañeros lo observan y hacen comentarios como: "no se le paro el cabello… no, no se le para^^^^//" [LAB-24]. Posteriormente pasan otros estudiantes para comprobar si es posible que al tocar una de las bolas del GVDG, se les erice el cabello, y encuentran que en algunos es más fácil que en otros. Estando en este proceso Daniel interviene:

> ahoritica, en una hoja necesito que me entreguen las preguntas para el informe…//
> Eso va a ser el informe de esto, ±…y si no alcanzamos… ya les dije que el informe…//

> Entonces, objetivos**; marco teórico construido, no copiar y pegar***; el análisis del Van de Graaff y conclusiones…//
>
> No es más, porque no necesitamos… porque ven conveniente tomar datos, los toman, si no ven conveniente pues no tomen datos, ± " [LAB-25].

## *Aportes a la hipótesis de progresión*

Para Daniel el trabajo de laboratorio debe reportarse en un informe, del cual ya ha dicho cómo elaborarlo con sus componentes. En este laboratorio con el GVDG no hay excepción, los estudiantes han de entregarle las respuestas a las preguntas formuladas en el informe. Cabe anotar aquí que Daniel en ningún momento escribió en el tablero o dictó el objetivo del laboratorio, y luego lo pide en el informe junto con el marco teórico, al parecer asociado con el GVDG, y las preguntas por él formuladas. Si bien no orienta un proceso de medición específico para resolverlas, si espera que entreguen en el informe la manera como se atendieron con sus debidas conclusiones. Este tipo de informe de laboratorio, así como de "práctica" tiene rasgos característicos del nivel reflexivo lógico de la hipótesis de progresión (ver tabla 26).

**Tabla 26.** CDC Práctica de laboratorio asociada al campo eléctrico

| Nivel I (no reflexivo) | Nivel II (reflexivo lógico) | Nivel III (innovador) | Nivel IV (reflexivo integrador) |
|---|---|---|---|
| Contenidos: Los conocimientos sobre el GVDG deben ser transmitidos por el profesor al estudiante.<br>Actividades: El profesor es el centro del proceso de indagación, pues es quien orienta lo que se debe preguntar. La interacción con el GVDG para el proceso de indagación debe ser posterior a las instrucciones del profesor, es decir, mínimas o irrelevantes.<br>Ideas de los estudiantes: El profesor guía las preguntas.<br>Evaluación: n. a. | Actividades: El informe de laboratorio debe elaborarse de acuerdo con un protocolo establecido. El informe de laboratorio debe mostrar objetivos que no se mencionaron. El laboratorio tiene carácter demostrativo con intenciones exploratorias reguladas por la intervención del profesor.<br>Evaluación: El informe de laboratorio debe responder las preguntas del profesor y no de los estudiantes.<br>Ideas de los estudiantes: Las preguntas de los estudiantes no son relevantes, se deben responder las que trae el profesor al laboratorio. | n. a. | n. a. |

**Nota:** Sesión de laboratorio GVDG.

## La sesión de estimulación del recuerdo [ER]

Para complementar el desarrollo del trabajo en lo relacionado con el cumplimiento de los objetivos, se presentan a continuación los resultados y análisis de la sesión de estimulación del recuerdo hecha con Daniel, una semana después de la clase sobre campo eléctrico. El proceso de estimulación del recuerdo con el profesor practicante consistió en:

1. Informarle sobre la intención de la sesión.
2. Explicarle las posibilidades de detener el video de la clase cuando él quisiera, para efectos de clarificar lo que recordara u opinar sobre lo visto.
3. Explicarle que en algunos momentos el investigador le formularía algunas preguntas en relación con el video.
4. Proceder a revisar la videograbación en compañía del investigador.

Este protocolo se fundamenta en la necesidad de valorar la importancia de las reflexiones de Daniel sobre sus acciones, por eso la relevancia de ver la videograbación junto con el investigador y detener el video en cualquier momento que considere un incidente crítico (Tripp, 1992) durante la enseñanza, en el sentido de validar todo lo que tiene que ver con situaciones o eventos especiales que lleven al profesor a reflexionar sobre su trabajo. En este sentido, Pernilla (2008) señala que tales "eventos especiales" son por ejemplo aquellos "… conectados con las actividades de la clase, sus interacciones con los estudiantes durante la enseñanza, cómo experimentó la lección, sus sentimientos, actitudes e intenciones" (p. 1287). Esta perspectiva de reconocimiento de procesos de reflexión autónomos en la revisión del video permite, entre otras cosas, dejar a un lado la idea de entrevista estructurada y darle mayor flexibilidad a la acción del profesor en el momento de revisar sus clases con el investigador. Dada la importancia que se deriva de los procesos de reflexión asociados a la clase, se presentan a continuación los resultados del análisis de nivel II de la transcripción de la sesión de estimulación del recuerdo [ER] (apéndice F).

### *Resultados y análisis del componente Contenidos [ER]*

#### Fuerza como prerrequisito

Daniel ya tiene jerarquizados los contenidos conceptuales que deben tener los estudiantes durante la clase de campo eléctrico, es decir, "se supone que los estudiantes saben el concepto de fuerzas de Newton, leyes de Newton y las diferentes fuerzas que hay" [ER-19]. En ese sentido la interacción entre Daniel y sus estudiantes sobre el concepto de fuerza normal se da en varios planos: por un lado, Daniel siempre está atento a cuestionarse, "¿será que entendieron cuál es la fuerza que actúa ahí?" [ER-19], es decir, si sus estudiantes comprenden la idea de fuerza normal en términos

de una fuerza de interacción entre cuerpos y, por otro lado, le preocupa que sus estudiantes distingan que en el caso del péndulo la interacción se denomina "tensión".

Para Daniel es de vital importancia que el estudiante diferencie entre los conceptos de fuerza gravitacional y la ley de Coulomb, debido a que aunque se pueden hacer analogías entre ellas y sus dependencias, es decir, "los estudiantes pueden decir que esa es la fuerza gravitacional y en el momento que se dice que es la ley de Coulomb se restringe el ejercicio a cargas" [ER-275] estos son dos conceptos que se refieren a diferentes situaciones, una es con relación a masas y la otra es en relación con cargas. Así, este señala la intensidad de líneas en dos cargas y se dirige a la fórmula matemática con el fin de que los estudiantes observen la dependencia que tiene la fuerza y la distancia entre cada carga y así con la dependencia de la intensidad de líneas, especialmente con el fin de "no confundir fuerza gravitacional con ley de Coulomb" [ER-275] y que el estudiante relacione el concepto de líneas que se presentaron en el dibujo con la fuerza de atracción o repulsión de la fórmula.

### La importancia de la pregunta: la explicación se justifica

Mirar fijamente al estudiante y preguntarle algo concreto le posibilita al profesor practicante generar una actitud de reflexión en él, puesto que según afirma, "yo me quedé mirando el estudiante y le pregunté si sabe por qué la normal no" [ER-19]. Con ello evidencia una reflexión acerca de que el estudiante comprendía. Adicionalmente, durante la interrogación a sus estudiantes sobre la tensión decide hacer el ejercicio, debido a que detectó preguntas sobre la manera de comprender la descomposición de la fuerza de tensión en el péndulo, aspecto clave en el proceso de análisis de fuerzas y sumatorias de fuerza, y comenta: "Pero la tensión hay que descomponerla en el eje X y en el eje Y". Los estudiantes empezaron a preguntar sobre esta descomposición, por lo tanto "la única, era solucionarles el ejercicio para que lo entendieran y más adelante esto no presente dificultades" [ER-19]. Así se hace relevante para Daniel liderar la explicación del ejercicio y tomar la decisión de alterar el rumbo de la clase para resolverlo, situación que termina validando al evocar experiencias ya vividas en su formación secundaria, en que reconoce la dificultad de comprender la descomposición de fuerzas, en especial debido a la falta de explicación por parte de sus profesores "para que [los estudiantes] no vayan a cometer el error, que yo cometía en el colegio, que nunca me decían, que esa fuerza formaba un ángulo" [ER-19].

### La analogía

Daniel aborda el concepto de campo eléctrico por medio de la analogía con el campo gravitatorio, ya que "se supone que los estudiantes tienen el conocimiento del porqué la Tierra orbita y así de esta escala macroscópica se podrán imaginar una escala microscópica" [ER-41]. Se puede observar aquí una relación con los estándares básicos de competencias en ciencias (MEN), que buscan que los estudiantes

establezcan relaciones de campo gravitatorio y campo eléctrico para así extrapolar el concepto de lo macro- a lo micro-. En este sentido, para él el concepto de campo gravitacional es una idea curricular que los estudiantes ya deben saber, es decir, "coger lo conocido por los estudiantes, la órbita de la Tierra (macroscópico) y aplicarlo a una escala más pequeña (microscópico)" [ER-40-41], pues este concepto se ve en el grado anterior. Asimismo, supone que los estudiantes tienen conocimiento de la órbita de la Tierra, ya que "si se coge algo que los estudiantes ya conocen esto lo podrán traer a una escala menor" [ER-40] y en torno a las ideas de los estudiantes en cuanto a que este fenómeno lo generaliza a escala microscópica.

Daniel acude a ejemplificar el campo gravitacional y el campo eléctrico por medio de sus manos, al cerrar las manos y enfrentarlas una a otra, para que sus estudiantes visualicen la situación. En sus palabras: "estaba tomando de lo macro- a lo micro-**,** vea esta mano y vea esta mano [señala con sus manos las dos masas] en el espacio que hay entre esto, hay un campo gravitacional que genera una fuerza, por ejemplo las masas de la Tierra y la ruta de Sol" [ER-80]. Este ejemplo tiene varias referencias analógicas como la trayectoria de la Tierra alrededor de Sol, dos cargas eléctricas de diferente signo y particularmente el núcleo y la carga. La idea de lo macro- a lo micro- tiene dos facetas: por un lado lo macro- se refiere al sistema Tierra-Sol y lo micro- a las dos cargas, y una segunda faceta en la cual lo macro- se refiere a las dos masas que él representa con sus dos manos cerradas, y la idea micro- lo referencia al núcleo-carga. Este evento de la sesión de ER resulta crítico para Daniel por cuanto al final de su comentario evoca nuevamente el carácter de su explicación analógica en relación con la manera en que lo explicaba, titubeando:

> Lo que estaba diciendo o sea... estaba… tomando de lo macro- a lo micro-, vea esta mano y vea esta mano [señala con sus manos las dos masas] el espacio… no lo expliqué así, pero lo que quería decir // el espacio que hay entre esto, ahí en ese espacio hay un campo eléctrico que genera una fuerza, un campo magnético… digo… un campo… gravitacional que genera una fuerza, que yo estaba diciendo la vez pasada, las masas de la Tierra y la ruta de Sol… creo que… esa es la analogía que estaba haciendo // entonces véalo de la misma manera, tiene una carga y otra carga en una carga positiva… en una carga…// el núcleo y una carga eléctrica…// el espacio que hay ahí es un campo eléctrico que, ¿qué? Genera una fuerza eléctrica [durante la explicación señaló las dos y masas y la distancia entre ellas] entonces en el momento, como se dio cuenta titubeaba mucho y… ¡ya! pues uno con la calma, usted ya puede decir± eso era así, así… pero en el momento usted… ¿Qué hago? **^** ¿Qué digo?... ¿Sí me entiende? [80-ER].

Su recuerdo le permite contrastar las analogías utilizadas, en las que manifiesta la importancia que le asigna al espacio entre las masas, al espacio entre las cargas, al espacio entre el electrón y el núcleo como referente del campo para cada situación gravitacional entre masas y eléctrico entre cargas. Adicionalmente reflexiona respecto a la explicación del campo eléctrico como "el espacio que hay entre dos cargas" y supone que esta no es la explicación adecuada ya que el campo eléctrico "se genera

en todo el espacio", por lo tanto comenta "no les aclaré a los estudiantes que el campo eléctrico se generaba en todo el espacio no solo en el espacio entre cargas" [ER-41]. Con esto ratifica que el campo eléctrico se genera en el espacio alrededor del cuerpo fuente (Tierra, carga), y contrasta lo explicado en clase en términos de dos cargas eléctricas. Esta reflexión evidencia la importancia de la evocación en el proceso de formación como profesor de Física no solamente en lo que tiene que ver con la consistencia de la explicación del campo eléctrico, sino que involucra la necesidad de valorar el conocimiento práctico del profesor, es decir, la naturaleza práctica de su conocimiento profesional sobre la enseñanza del campo eléctrico.

### Los libros: fuentes de conocimiento

Daniel hace uso de los libros como referencia de los contenidos conceptuales para explicar el campo eléctrico, es decir, "se toma los libros como referencias, pero se explica desde su punto de vista de profesor" [ER-44]. En efecto, no solo se centra en los contenidos que tiene el libro, sino que analiza y compara con su propia perspectiva, sin embargo esta resulta adquirir un carácter matemático, en otras palabras, el libro es fuente de contraste sobre la manera matemática en que se organiza el conocimiento. Para él la fórmula matemática expresa proporcionalidades entre cantidades físicas, aspecto importante para que sus estudiantes lo entiendan, por ello reflexiona que "es importante que los estudiantes tengan el conocimiento matemático ya que este les permitirá dar explicación a diferentes situaciones" [ER-45], y en particular la fuerza y su proporcionalidad con el inverso del radio al cuadrado, la cual a juicio de él está localizada en el espacio, dándole un carácter casi ontológico a la proporción entre cantidades físicas. Por tanto, la reflexión de lo que observa de su clase también le hace reafirmar esta perspectiva matemática al comentar que "toda la física esta traducida en un lenguaje matemático" [ER-45], situación en la cual las fórmulas matemáticas asociadas al campo eléctrico pertenecen al proceso de traducción de la física en lenguaje matemático. Por ello para Daniel los libros cumplen el rol de sintetizadores referenciales del conocimiento físico en lenguaje matemático, en especial al reflexionar que *"*… he tomado los libros como guía, pero mi pensamiento matemático, que lo tengo como prioridad, me sirve para ver si la explicación que yo tengo es parecida a los libros" [ER-46]. Llama la atención aquí que la claridad conceptual de Daniel depende de una fórmula matemática sintetizada en el libro y no de un discurso que explique situaciones fenomenológicas asociadas al campo eléctrico, lo que muestra su gran credibilidad en la fórmula matemática del libro.

### Conceptos claros, explicación exitosa "sin titubeos"

Para Daniel hay que conocer con claridad el concepto de campo y así no se cometerán errores al explicarlo, por ello al reflexionar sobre su explicación del campo

eléctrico comenta: "si usted no tiene claro el concepto se va a ver reflejado en la explicación… y pues… ahí se nota que no estaba tan claro el concepto, como uno dice que… ¡si está claro!…" [ER-71]. Aunque Daniel había expresado que la claridad de los conceptos se generaba por medio de la matemática, en este punto expresa que a la hora de enseñar, esa misma matemática puede contribuir a la falta de claridad entre el campo eléctrico y la fuerza:

> Porque es que uno a veces, uno se confunde… en… decir que // por ejemplo en este caso… ahí por la fórmula uno dice, bueno el campo eléctrico sale de la fuerza, pero… no es así, la fuerza es causada porque hay un campo eléctrico ahí // y eso es lo que yo quería explicar y… titubeaba mucho era porque yo me confundí ahí… ¿era así?, o ¿no era así? y a uno se le olvida y… después empieza a confundir y si usted se confunde, confunde a los estudiantes… entonces en el momento // al final de ese… pedazo creo que yo aclaré al fin, ¡si la fuerza es causa del campo eléctrico!, no voy a decir nada más y… no dije así… pero dentro de mí no voy a decir nada más o si no los confundo más… que tengan eso // entonces ahí es donde llegué [ER-73].

Para Daniel en la fórmula matemática (E= F/q) el campo eléctrico sale de la fuerza, pero esto no le da sentido a escala fenomenológica; al evocar esta situación de enseñanza refleja la importancia del carácter práctico del conocimiento didáctico en cuanto a la enseñanza interactiva. Es decir, es en la enseñanza interactiva cuando busca ser consistente al reflexionar constantemente sobre sus propias explicaciones respecto de la relación entre fuerza y campo, situación asociada al proceso mismo de la explicación de la fórmula matemática, pero reconoce haber entrado en una especie de contradicción causalista entre la fuerza y el campo. Por tanto, su decisión de no ampliar la información a sus estudiantes acerca de la relación fuerza-campo está basada en un criterio de claridad conceptual, pues no quiere confundirlos o afianzar las confusiones que a su juicio ya tienen sus estudiantes. En sus términos, "la fuerza es causa del campo eléctrico y no voy a decir nada más porque si no los confundo" [ER-73]. Esta decisión está basada en las consecuencias que dicha confusión puede traer a sus estudiantes.

Por tanto, el profesor practicante ratifica que si él como docente tiene confusiones sobre el campo eléctrico estas se transmiten a sus estudiantes, de manera que no es permitido titubear en clase cuando se está explicando, no se puede confundir a los estudiantes y esto depende de la claridad del concepto que está enseñando.

### Las líneas de fuerza: un asunto de representación

Dado que Daniel observa cómo fue enseñando las líneas de fuerza, primero dibujando un círculo con un signo + como carga positiva e indicando que "cada carga debe tener sus líneas…***…cómo le digo, su línea de fuerza, bueno ±. [Moviéndose de lado a lado y a su vez moviendo sus manos] que una carga positiva…va a tener

líneas de campo hacia fuera" [ER-85], y luego preguntando a los estudiantes "±… ¡si una carga positiva tiene líneas de fuerza hacia afuera!…// ¿Cómo sería, cómo serían las líneas de fuerza de un campo negativo? (responde ♣♣♣♣) hacia adentro" [ER-87]. Sus reflexiones sobre este recuerdo están asociadas a la idea de que las líneas de fuerza son una "representación" [ER-90] cuando se analiza solo una carga eléctrica. En este sentido ubica una nueva manera de entender el "significado" de las líneas de fuerza en el plano de la interacción entre cargas eléctricas, es decir, que el significado *per se* de las líneas de fuerza está asociado a su comportamiento a la hora de colocar dos cargas eléctricas en el espacio e interactuar. Su reflexión al respecto es como sigue:

> I.— ¿Qué quieres que los estudiantes comprendan con la idea de líneas de fuerza?
>
> D.— Pues… cómo se comportan esas líneas de fuerza cuando… usted tiene dos cuerpos ±… y ± como una…// para que vea que eso es solo una representación no más, o sea… eso ahí es solo una representación // el significado ya es cuando usted tiene los dos… los dos cuerpos, usted, ¿cómo creería que se comportaría las líneas de fuerza? Entonces yo les mandé, primero lo que era…// no les di el concepto, porque no les había dado el concepto// yo les dije mire, esto son líneas de fuerza…* yo no sé si les dije después, eso es representación…* no me acuerdo… entonces si les dije bien y si no les dije… [ER-90].

Adicionalmente, para el profesor practicante las líneas de fuerza se encuentran fuertemente relacionadas con el concepto de campo eléctrico, puesto que comenta que "el conocimiento de la dirección de estas líneas es como de cultura general, pues esto se encuentra relacionado con lo que es el campo eléctrico" [ER-92], por lo tanto, todo estudiante debería tener conocimiento básico de su representación. En consecuencia, el conocimiento sobre las líneas de fuerza forma parte del capital académico-cultural de cada estudiante. En este proceso de caracterización de esta "cultura general" resulta importante que los estudiantes primero diferencien entre líneas de fuerza y vectores, así como que entiendan que las líneas de fuerza representan el campo eléctrico y en particular como este se orienta y por esto afirma: "Yo les dije a los estudiantes, es para ver el campo eléctrico, pero no especifiqué para qué les va servir" [ER-96]. Una pregunta que aquí surge es si el concepto de líneas de fuerza es cultura general, entonces ¿él debe enseñarlo aunque no tenga argumentos sobre su utilidad en la explicación de fenómenos eléctricos?

Por otro lado, en sus reflexiones sobre el ejercicios de las cinco cargas, se puede evidenciar como para Daniel los conceptos de atracción y repulsión se le atribuyen a la interacción entre cargas, en otras palabras, si un cuerpo influye en el otro o no. El concepto de atracción y repulsión es aislado del concepto de campo eléctrico, pero tiene relación con las líneas de campo. Es decir, "que los estudiantes analicen esas líneas de campo en torno a la influencia del otro cuerpo" [ER-350]. De esta manera el centro de atención del profesor practicante se encuentra en los efectos de

la presencia de cargas respecto a otras. Así como cuando se tienen masas y su presencia afecta a otras masas. Sin embargo al parecer él le asigna a las líneas de fuerza el rol de trasmisores de la interacción, como si "representarán" una cuerda que ata las cargas (interacción a distancia). Pero las líneas de fuerza también son consideradas como líneas que llenan el espacio, de manera que la existencia simultánea de líneas en un mismo espacio no tendría sentido. Al respecto comenta el video de la siguiente forma:

> Puede que haya unos espacios pequeños, ¿pero si encajaran para meter unas líneas de campo ahí? y las otras líneas de campo serán que pegan …esta la … la repulsa ^ bueno la contrarresta y hace que esta siga para acá, y esta lo mismo [con los dedos describe movimientos circulares] o será que alcanzan a salir por esos huecos [con los dedos describe dos movimientos en línea recta, uno hacia la derecha y otro hacia la izquierda]. A eso es lo que yo me refería, y el otro decía… lo que usted piensa hágalo, entonces el chino me miró como ¿qué?, ¡ah!, no hago nada y es lo que uno generalmente hace. O sea, él lo sabe todo, entonces hágalo usted ^uno se da cuenta en… por ejemplo en la universidad uno se da cuenta de eso usted lo sabe más, hágalo [198-ER].

Cabe anotar que esta manera de entender las líneas de fuerza también está asociada a la idea de "intensidad de líneas de campo" puesto que Daniel la relaciona con la cantidad de líneas de campo en un punto del espacio (densidad de líneas), lo cual también conecta con la distancia de este punto a la carga eléctrica. Es decir, "cuando la partícula está cerca o lejos" [ER-267]. Estos tres elementos constituyen su concepción de intensidad del campo eléctrico en un punto en el espacio. Su insistencia en cuanto a intensidad implica una relación con el término fuerza eléctrica para hablar de la interacción eléctrica.

### Contenidos actitudinales

Para Daniel es pertinente valorar la pregunta del estudiante, pues esto estimula a la clase a que genere más interrogantes durante la explicación, aun cuando él pueda llegar a considerar la pregunta como muy obvia, para él es más importante no truncar los interrogantes de sus alumnos, pues con esto promueve la participación en la clase. En este sentido comenta lo que recuerda de su interacción con el estudiante de la siguiente manera:

> […] y bueno, pues… también verlo desde el punto de ellos, usted le diga… a un estudiante, ¡no, eso es lo mismo!, dirá entonces: mi pregunta es pendeja, entonces no vuelvo a preguntar. También… es decir, es buena pregunta para que siga preguntando —así sean bobadas—, pero sigan preguntando y… hacemos algo complicado de los dos…± pero en el momento en que usted le llegue a decir a un estudiante: pero eso es lo mismo que el otro, ¿para que lo hacemos? Entonces él dirá: ¿para qué yo pregunto entonces?... [ER-137].

En otra situación de la clase decide comentar:

> Yo creo que por eso no empiezan a preguntar en público, porque empiezan los prejuicios los… ¿si me entiende?... lo que le digan, ¡piense!... cosas así, que uno dice… bueno esto puede que haga que los chinos no pregunten… y esta, a diferencia de la anterior, si es una buena pregunta… porque siempre uno trata dos cuerpos y nunca trata más de dos cuerpos o algo así… entonces al preguntar cinco cuerpos y uno en la mitad, y ya tiene las líneas de campo, entonces… aquí no cabe líneas de campo… entonces, ¿dónde meto las líneas de campo?, o algo así…// esto sí me parece que sería una buena pregunta… al momento de decirle al otro muchacho que eso sería una buena pregunta, empezaron a preguntar ±… entonces, creo que puede ser una alternativa de no… bajar la autoestima… [ER-191].

La valoración de la actitud del estudiante está asociada al carácter de la pregunta, es decir, si la pregunta es buena o mala hay que valorarlos, estimular la participación. En este caso Daniel confirma que puso atención al estudiante que le formuló una pregunta que se salía de los parámetros usuales de representación de las líneas de fuerza que generalmente colocan dos o tres cargas eléctricas, esto lo analiza como un valor agregado dado que lleva a que los estudiantes expresen su preguntas en torno a que las líneas de fuerza no caben en ese espacio.

### Aportes a la hipótesis de progresión

Por último, en la intención de caracterizar el CDC del profesor, con base en la hipótesis de progresión (ver tabla 27), para el componente Contenidos se observa que:

1. Los prerrequisitos son fundamentales para la enseñanza, en particular las leyes de Newton y las estrategias de solución de problemas de aplicación.
2. La analogía con el campo gravitacional forma parte de la estrategia de comparación entre lo macro- y lo micro-.
3. El profesor debe explicar los conceptos sin titubear.
4. La matemática permite representar la física y el profesor debe consultar los libros para que le sirvan como referencia.
5. En la clase se motiva a los estudiantes a resolver los ejercicios y se anima a preguntar.
6. Las líneas de fuerza permiten representar la intensidad del campo eléctrico, su enseñanza.

**Tabla 27.** CDC Contenidos [ER] en relación con la hipótesis de progresión

| Nivel I (no reflexivo) | Nivel II (reflexivo lógico) | Nivel III (innovador) | Nivel IV (reflexivo integrador) |
|---|---|---|---|
| Los prerrequisitos son fundamentales (fuerza, leyes de Newton).<br>Perspectiva transmisionista, el profesor debe explicar sin equivocarse. | Se utilizan analogías con el campo gravitacional. | Se consideran contenidos actitudinales. | n. a. |

**Nota:** Estimulación del recuerdo de la sesión de clase sobre campo eléctrico.

## *Resultados y análisis del componente Actividades [ER]*

La interacción entre Daniel y el estudiante sobre el concepto de fuerza normal se da en varios planos, por un lado el profesor siempre está atento a cuestionarse, "¿será que entendieron cuál es la fuerza que actúa ahí?" [ER-19], es decir, si sus estudiantes comprenden la idea de fuerza normal en cuanto a una fuerza de interacción entre cuerpos, pero donde se requiere diferenciar el caso del péndulo pues allí esta interacción se denomina fuerza de tensión (la preocupación sobre si entendieron está asociada a cómo se nombra).

### La explicación como forma de reflexionar sobre sí mismo

Aunque Daniel había expresado que la claridad de los conceptos se generaba por medio de la matemática, en este punto expresa que esa misma matemática puede contribuir a la falta de claridad entre el campo eléctrico y la fuerza, ya que "la fórmula dice que el campo eléctrico sale de la fuerza, pero no es así porque la fuerza es causada por el campo eléctrico que hay ahí" [ER-73]. Es decir, en la fórmula el campo eléctrico sale de la fuerza. Esta situación está asociada al proceso mismo de la explicación de la fórmula, con lo que se reconoce que cuando Daniel explica, también cuestiona su comprensión del concepto; él nos muestra una evidencia contradictoria de lo que dijo anteriormente.

Ahora bien, la decisión de Daniel de no ampliar información a sus estudiantes acerca de la relación fuerza-campo está basada en un criterio de claridad conceptual, pues no quiere confundirlos o afianzar las confusiones que ya tienen. En palabras de Daniel, "la fuerza es causa del campo eléctrico y no voy a decir nada más porque si no los confundo" [ER-73]. En esta decisión al parecer también ha considerado las consecuencias que puede traer a sus estudiantes, es decir, si el profesor tiene confusiones estas se trasmiten a sus estudiantes. Con ello revela la intención de trasmitir una imagen de profesor que todo lo tiene claro y se prohíbe a sí mismo divagar.

Otro momento en que autorreflexiona asociado a la explicación se puede ilustrar cuando Daniel observa que no es adecuado hablar del campo eléctrico como el espacio que hay entre dos cargas, ya que el campo eléctrico se genera en todo el espacio, por lo tanto dice Daniel: "no les aclaré a los estudiantes que el campo eléctrico se generaba en todo el espacio no solo en el espacio entre cargas" [ER-41]. Con esto ratifica que el campo eléctrico se genera en el espacio alrededor del cuerpo fuente (tierra, carga).

En otro momento de la clase Daniel reflexiona acerca de la manera más adecuada de elaborar una pregunta en clase, ya que una de las consecuencias estaría asociada a su propia incomprensión de lo que pregunta. Es decir, "una de las cosas es saber cómo preguntar" [ER-245]. Sin embargo el evento muestra que una vez recibida la respuestas de sus estudiantes de que ellos no entendían, decide hacer un gráfico y cambiar los términos "acoplado", "variación", "líneas de campo" e "intensidad de líneas" por la pregunta sobre el lugar en el espacio en el cual hay una mayor intensidad de líneas. De esta manera reconoce que la representación gráfica le ayudó a reelaborar la pregunta comenzando por darle un sentido a escala personal para luego comunicarla a sus estudiantes.

### Ver para creer

Para Daniel los estudiantes deben ver ejemplos o procesos y así darle credibilidad a la información que él les brinda, este aspecto se concibe como la transición de lo irreal a lo real. En palabras de Daniel "lo que yo quería era que los estudiantes miraran si ese experimento del aceite servía, es decir, *que lo que se estudia es aplicado a algo real*" [ER-111], con esto espera que los estudiantes le atribuyan realidad a algo si lo ven, en este caso a las líneas de fuerza y su comportamiento en el experimento del aceite.

Otro ejemplo de esta necesidad de visualizar se relaciona con el uso de dibujos asociados al concepto de "intensidad de líneas", ya que para Daniel resulta la mejor forma para enseñar a sus estudiantes. Él señala que por medio de esta explicación visual se le facilitará aclarar el concepto de "intensidad de líneas", pues el estudiante visualiza en qué punto hay mayor cantidad de líneas, y con ello podrá generalizar el concepto de intensidad del campo eléctrico. Por lo tanto, "al referirme al concepto de intensidad de líneas los estudiantes tendrán la posibilidad de observar en qué punto del dibujo se encuentra esto" [ER-259]. Esto hace referencia a la visualización que permite distinguir un sesgo de acompañamiento o de guiar a sus estudiantes a centrar la atención en una parte del dibujo y de este manera responder la pregunta formulada (esto es un indicador de guiar o encaminar al estudiante).

### La pregunta del estudiante: ¿mecanismo de estimulación?

Para Daniel la pregunta del estudiante de "¿cómo quedarían las líneas de campo si las dos cargas fueran negativas?" [ER-119] se puede fundamentar y categorizar como producto de la reflexión de lo que se trata en clase, en particular la ausencia de la explicación para dos cargas negativas. La idea se considera buena en tanto se relaciona con el tema y es evidencia de la actitud del estudiante de que quiere ir más allá de lo que el profesor le enseña, sin embargo esta no es excelente dado que no acude a extrapolaciones del concepto de carga en conductores o en situaciones concretas. Una excelente pregunta sería: "¿Qué sucede si son dos materiales diferentes? O ¿qué sucede si tienen diferente geometría?" [ER-131], lo cual indica que para Daniel existe una tipología valorativa de las ideas de los estudiantes (regulares, buenas, malas, excelentes) asociadas fuertemente al contexto temático dado que: "El estudiante no se queda con lo que se le da, por el contrario quiere ir más allá para tener diferentes ejemplos de líneas de campo" [ER-131]. En este juicio se verbaliza al estudiante en razón a la pertinencia respecto al tema. Pero también se hace con una mirada de lo actitudinal ya que la pertinencia de la pregunta en relación con el tema se asocia a la actitud de indagar e ir más allá por parte del estudiante.

En el ejercicio al estudiante se le dificulta dibujar las líneas de fuerza de la carga de la mitad, ya que no hay espacio para hacerlas y no tienen claro si estas se pueden pegar entre sí, ante lo cual Daniel expresa: "Lo que usted piense, hágalo" [ER-198] con el fin de que el estudiante dibuje lo que él crea conveniente, pues lo importante es que trabaje e indagué en torno al ejercicio. Asimismo, en otro momento de la clase la forma en que Daniel relata haber considerado la idea de la distribución de las líneas de fuerza para el caso de la carga central, revela una valoración del lenguaje de los estudiantes, así como de la representación que ellos tienen acerca de la situación planteada en términos de lo que ya conocen: "los estudiantes analizan la física con la realidad" [ER-224]. En este caso, las representaciones usuales o dibujos del sol. Cabe anotar que esta representación en un sentido clásico se refiere a un círculo del que salen líneas rectas, pero también existen otras de sol como espirales alrededor de un círculo central.

Por último conviene destacar que en ocasiones la explicación de Daniel se afecta por la propuesta del estudiante al cruzar las líneas de campo. Así, él manifiesta que a partir de los argumentos de los estudiantes se cuestionó: "¿Será que se pueden cruzar las líneas? pero después no me preocupe por eso y se me olvidó" [ER-334]. Se evidencia que la preocupación por la solución coherente del ejercicio se abandona una vez que la interacción del estudiante termina. Pero esta se puede retomar cuando se observa la clase, lo cual indica que la búsqueda de una explicación coherente está influenciada por la actividad de clase.

### Revisando el laboratorio de campo eléctrico

Para Daniel uno de los objetivos del laboratorio del GVDG es que sus estudiantes construyan el conocimiento de campo eléctrico interno y externo; en sus palabras: "¿Cómo será el campo eléctrico? Primero en la esfera y después en la bolita", ya que este se puede dilucidar durante la experiencia del laboratorio [ER-365] a partir de la explicación del funcionamiento del GVDG y de los conocimientos que él supone que ya han sido elaborados por sus estudiantes. El laboratorio tiene un carácter demostrativo, pero está construido a partir de la explicación del profesor. En este experimento los estudiantes observan primero tal explicación, participan en la generación de la chispa y luego interactúan libremente con el GVDG.

En este caso el GVDG posibilita preguntarles a los estudiantes acerca de la transmisión de la carga eléctrica, el tipo de carga que adquiere la esfera, así como sobre el campo eléctrico en relación con el acercamiento de la otra esfera metálica. En este punto al parecer Daniel buscaba identificar las nociones de los estudiantes sobre la naturaleza de la descarga, y cree que estos podrán considerar aspectos como el aire en relación con las partículas cargadas. Adicionalmente, si bien Daniel no expone como funciona el GVDG y la manera como queda cargada negativamente la esfera, supone que los estudiantes podrían tener una explicación de la chispa asociada al funcionamiento del pararrayos en cuanto a la idea de descarga, es decir, que la descarga es flujo de carga atraída por la esfera exterior.

### Aportes a la hipótesis de progresión

Por último, en la intención de caracterizar el CDC del profesor, con base en la hipótesis de progresión (ver tabla 28), para el componente Actividades se observa que:

1. El profesor explica los conceptos y los estudiantes deben utilizar sus ideas previas para comprender la información.
2. Los ejercicios de lápiz y papel son importantes para que los estudiantes comprendan.
3. La explicación puede servir para reflexionar sobre lo que se sabe.
4. La información que brinde el profesor no debe generar confusiones en los estudiantes.
5. El profesor debe hacer ejemplos gráficos y numéricos, de esta manera los estudiantes dan credibilidad al conocimiento.

**Tabla 28.** CDC Actividades [ER] en relación con la hipótesis de progresión

| Nivel I (no reflexivo) | Nivel II (reflexivo lógico) | Nivel III (innovador) | Nivel IV (reflexivo integrador) |
|---|---|---|---|
| Las actividades de los estudiantes dependen de las instrucciones del profesor.<br>Los estudiantes deben hacer ejercicios de lápiz y papel en donde apliquen sus conocimientos. | n. a. | n. a. | n. a. |

**Nota:** Estimulación del recuerdo de la sesión de clase sobre campo eléctrico.

## *Resultados y análisis del componente Ideas de los estudiantes [ER]*

### La fuerza: de lo mecánico a lo eléctrico; de lo macro- a lo micro

Para Daniel, en los ejercicios en clase media la suposición acerca de la fuerza y el principio de superposición. En efecto, él supone que para hacer el ejercicio de lápiz y papel los estudiantes tienen como ideas previas "fuerzas de Newton, leyes de Newton y lo que era cada fuerza" [ER-19], así, el concepto de fuerza como vector no requiere mayor aclaración, y más bien debe ser complementado, en este caso, con la necesaria descomposición de la tensión en un ángulo, en especial porque para 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]. De esta manera el ejercicio de lápiz y papel acerca de una situación del mundo de la electricidad se deberá desarrollar de forma análoga al mundo de lo mecánico, donde no se le da ninguna connotación especial al fenómeno eléctrico, excepto quizás su asociación con el mundo de lo microscópico, especialmente porque Daniel entiende que hay que "coger lo conocido por los estudiantes, la órbita de la Tierra (macroscópico) y aplicarlo a una escala más pequeña (microscópico)" [ER-40-41], pues este concepto se ve en el grado anterior.

### El campo y la fuerza, las creencias de sus estudiantes

Dado que el profesor practicante manifiesta la confusión que él tuvo en el concepto de fuerza y campo, es importante aclararles que la fuerza es causada por el campo, en palabras de Daniel: "la fuerza es causa del campo eléctrico, mas no es el mismo campo eléctrico" [ER-49], por esto es necesario la diferenciación entre estas dos cantidades físicas, pues "la mayoría de los estudiantes los ven como conceptos iguales" [ER-49]. Así, en el momento en que Daniel explica el concepto de campo eléctrico, tiene en cuenta las creencias de sus estudiantes, dado que, "los estudiantes creían que la fuerza es lo mismo que el campo" [ER-49], con esto una de las creencias expresadas por los estudiantes es la confusión entre campo y fuerza.

Ya se ha venido analizando [ER-131] que para Daniel existe una tipología valorativa de las ideas de los estudiantes, bien sea en relación estrictamente con el contenido conceptual o con las actitudes [ER-137, 168, 191, 198]. En ambas situaciones se revela que las ideas de los estudiantes se pueden apreciar por medio de las preguntas que ellos hacen. Asimismo, en el ejercicio de *placas paralelas* que se asigna al final de la sesión de clase, su intención radica en que el estudiante describa cómo van las líneas de campo si el electrón se desvía en diferentes direcciones, con el fin de que "Los estudiantes miren que la desviación del electrón tiene relación con las líneas de campo" [ER-161] y su relación con la comprensión del campo eléctrico. Este ejercicio tiene un papel muy importante en la comprensión de líneas de fuerza, puesto que permite que "El estudiante mire desde diferentes puntos de vista, que no solo se quede en las bolitas sino por el contrario que observe que se puede aplicar a diferentes figuras geométricas" [ER-161], es decir, le asigna a este trabajo la posibilidad de que sus estudiantes extrapolen ese conocimiento para diferentes figuras geométricas o situaciones físicas que van más allá del caso de dos partículas puntuales cargadas.

Ahora bien, la forma como Daniel relata haber considerado la idea de la distribución de las líneas de fuerza para el caso de la carga central en el "ejercicio de las cinco cargas", revela una valoración del lenguaje de los estudiantes, así como de la representación que ellos tienen acerca de la situación planteada en cuanto a lo que ya conocen, es decir, "*analizan la física con la realidad*" [ER-224], en este caso las representación usuales o dibujos del sol. Cabe anotar que esta representación en un sentido clásico se refiere a un círculo del cual salen líneas rectas, pero también existen representaciones del sol como círculos o espirales alrededor de un círculo central. La pregunta que aquí se puede construir es, ¿a qué realidad se refiere? Y una primera respuesta puede ser que se refiere a la realidad de la representación del Sol y de su radiación, pues comenta que "al ver un solecito uno se imagina lo que el estudiante piensa" [ER-224]. En cierto sentido vuelve aquí a surgir la idea de que los estudiantes establecen analogías de lo macro- a lo micro- y en este caso de la radiación del Sol (rayos) con las líneas de fuerza.

### Aportes a la hipótesis de progresión

Por último, en la intención de caracterizar el CDC del profesor con base en la hipótesis de progresión (ver tabla 29), para el componente contenidos se observa que:

1. Las ideas de los estudiantes sobre la fuerza y las líneas de fuerza deben corregirse.
2. Los estudiantes no deben confundir campo y fuerza.
3. El lenguaje de los estudiantes revela la manera como entienden el campo eléctrico, en especial cuando preguntan o argumentan sus representaciones de las líneas de fuerza.

**Tabla 29.** CDC Ideas de los estudiantes [ER] en relación con la hipótesis de progresión

| Nivel I (no reflexivo) | Nivel II (reflexivo lógico) | Nivel III (innovador) | Nivel IV (reflexivo integrador) |
|---|---|---|---|
| Las ideas de los estudiantes suelen confundir líneas de fuerza con fuerza.<br>Los estudiantes deben tener ideas previas sobre leyes de Newton y fuerza.<br>Las ideas de los estudiantes sobre campo gravitacional no se deben confundir con la ley de Coulomb. | Las ideas de los estudiantes pueden desarrollarse por medio de los ejercicios de lápiz y papel.<br>El lenguaje de los estudiantes revela sus ideas sobre la distribución de las líneas de fuerza y el campo eléctrico. | n. a. | n. a. |

**Nota:** Estimulación del recuerdo de la sesión de clase sobre campo eléctrico.

## *Resultados y análisis del componente Evaluación [ER]*

La sesión de estimulación del recuerdo deja claro que Daniel no hace explícitamente una evaluación y sus reflexiones de la clase se relacionan con los juicios de valor que le fue dando a las interacciones con sus estudiantes, principalmente alrededor de la solución de los ejercicios de lápiz y papel. En este sentido, el ejercicio le permite al profesor practicante evaluar lo visto en el aula, ya que dicha situación se aplica a temas y ejercicios que han sido estudiados durante las clases, y sirve "para ver si ellos entendieron el concepto de lo que es líneas de campo, tema estudiado en clase" [ER-307]. La importancia de esta comparación reside en que sus estudiantes analicen cómo es el campo ahí, en torno a conceptos de repulsión y atracción. La forma en que él espera que sus estudiantes hagan estas distinciones recurre básicamente a la representación de la leyes de fuerza. Esto le permite observar si tienen claros los conceptos o si por el contrario presentan alguna dificultad. Sin embargo este énfasis en valorar la comprensión conceptual no es el único, pues como se ha mencionado, también existe un interés en evaluar las actitudes de sus estudiantes [ER-191].

### Interpretar y resolver

El ejercicio de dibujar las líneas de campo de dos placas (positiva, negativa) y el electrón dentro de estas, constituye un ejercicio significativo para el profesor practicante, ya que por medio de este podrá analizar cómo sus estudiantes interpretan y resuelven. Uno de los aspectos relevantes de este ejercicio radica en que el estudiante lo visualice como un sistema compuesto de dos placas y un electrón, en el cual se estudia el movimiento de esta carga, y también que no divida el ejercicio en dos: "Si los estudiantes tienen la idea del campo, no hacen el electrón independiente de los otros dos, pues eso me diría que no habrá campo" [ER-315], en otras palabras, si dibujan las líneas de campo de las placas y luego las líneas del electrón, ya que durante los ejercicios

propuestos en la clase de campo eléctrico se han utilizado sistemas de igual estructura geométrica —cargas puntuales (esferas) y placas paralelas (rectángulos)—, pero no una combinación de los dos. Para Daniel es importante que analicen dicha situación porque "le[s] permite desarrollar el pensamiento" [ER-313]. El fundamento del ejercicio es que estudien el movimiento del electrón dentro de las placas.

Adicionalmente, en el ejercicio de las cuatro cargas el profesor practicante pretende que sus estudiantes apliquen lo que ya han visto en clase, pues durante esta ya se había desarrollado una situación similar, en sus palabras: "*Era como para mirar la atención de los estudiantes en clase, pues ya hicimos uno de cinco pepas, imposible que no puedan hacer uno de cuatro pepas y es un triángulo*" [ER-315]. Mejor dicho, puede observar si los estudiantes prestan la suficiente atención en clase. Otro fin del ejercicio es saber si los muchachos observan el efecto de cada carga sobre las demás y viceversa, en efecto, "si las líneas de campo cambian dependiendo la carga de arriba o la carga de abajo, o la carga del otro lado, ya que una genera repulsión sobre la otra y así sucesivamente" [ER-318], más aún si aplican conceptos de repulsión y atracción.

### Aportes a la hipótesis de progresión

Por último, al caracterizar el CDC del profesor, con base en la hipótesis de progresión (ver tabla 30), para el componente Evaluación se observa que durante la estimulación del recuerdo no se hacen reflexiones explícitas sobre la evaluación, sin embargo se observa que Daniel considera importante que los estudiantes interpreten los ejercicios y la información que él les brinda. En este proceso comenta sobre la importancia de que los estudiantes apliquen los conocimientos.

**Tabla 30.** Evaluación [ER] en relación con la hipótesis de progresión

| Nivel I (no reflexivo) | Nivel II (reflexivo lógico) | Nivel III (innovador) | Nivel IV (reflexivo integrador) |
|---|---|---|---|
| La evaluación de los ejercicios se basa en la aplicación de lo enseñado. | n. a. | n. a. | n. a. |

**Nota:** Estimulación del recuerdo de la sesión de clase sobre campo eléctrico.

## Resultado global e hipótesis de progresión

Las tablas 31 y 32 muestran una distribución de los indicadores de relación con la hipótesis de progresión. El color allí utilizado indica que tanto en el nivel como en ese componente, se han elaborado indicadores interpretativos que manifiestan la relación entre lo declarado por Daniel y lo hecho en su clase, con la hipótesis de progresión. Para elaborar estos cuadros se tomaron como fuente los cuadros que resultan del análisis del nivel II después de la sección de conclusiones específicas para cada componente y para cada fase. Por tanto, el color no indica en estricto la

frecuencia de indicadores interpretativos, sino más bien su existencia en los lugares donde no hubo indicadores de relación con la hipótesis de progresión. Las dos tablas identifican también las dos fases: la declarativa con sus fuentes de información (encuesta, entrevista, documento de planeación) y de acción (sesión de clase sobre el campo eléctrico). Con esto se encuentra cómo en la fase declarativa se presentan más indicadores de relación con el nivel reflexivo lógico, seguido por el nivel no reflexivo, en contraste con un tercer lugar para el nivel reflexivo integrador y, por último, el nivel innovador.

**Tabla 31.** Síntesis general de las fases de investigación en relación con la hipótesis de progresión

| **Nivel** | **No reflexivo** | | | | **Reflexivo lógico** | | | | **Innovador** | | | | **Reflexivo integrador** | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Componentes CDC | C | I | A | E | C | I | A | E | C | I | A | E | C | I | A | E |
| [ENC] | | | | | | | | | | | | | | | | |
| [ENT] | | | | | | | | | | | | | | | | |
| [PA] | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| [CLA] | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| [LAB] | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| [ER] | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C: Contenidos; I: Ideas de los estudiantes; A: Actividades; E: Evaluación | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Encuesta [ENC]; entrevista [ENT]; planeación [PA]; sesión de clase[CLA] | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sesión de laboratorio [LAB]; sesión de estimulación del recuerdo [ER] | | | | | | | | | | | | | | | | |

**Nota:** Síntesis de las tres fases en relación con la hipótesis de progresión.

Sin embargo los datos de las tablas 31 y 32 también evidencian una construcción del CDC en desarrollo, es decir, un estado del CDC que a partir de los componentes analizados no se ubica solamente en uno o dos de los niveles de referencia de la hipótesis de progresión, sino más bien se distribuye en todos los niveles. Hay que tener en cuenta que este carácter polifónico y complejo del CDC pone de manifiesto una condición del conocimiento profesional de Daniel, que consiste en el desarrollo del proceso de transformación didáctica que está comenzando a partir de sus primeras experiencias como profesor en una institución educativa.

El hecho de que se compartan los dos primeros niveles de referencia, indica una tendencia a favorecer una enseñanza de corte más bien tradicional en el sentido del desarrollo de los componentes del CDC. Aquí es característico un enfoque

de corte transmisionista que le da prioridad a la información y la confunde con conocimiento, y que valida la mirada acumulativa de este, donde se asume también la necesidad de transitar primero por la teoría para luego ir a la experimentación y comprobarla.

Una aproximación adicional de corte interpretativo se organiza mediante ejes DOC en los que se pueden destacar como eje obstáculo el hecho de que los contenidos conceptuales sean entendidos como productos elaborados, en los cuales el profesor no desarrolla ningún tipo de integración o transformación didáctica. Aquí se encuentra que no hay un discurso propio sobre el campo eléctrico, sino que se dispone de un repertorio tipo contador impersonal de un suceso desconectado de la realidad de los estudiantes.

En cuanto a los ejes de cuestionamiento se hace relevante mencionar una tensión relacionada con la evaluación, que en el nivel declarativo se expresa en correspondencia con elementos de puesta en común y habilidades para explicar procesos. Sin embargo la evaluación escrita (la previa) hecha adquiere un carácter de evaluación terminal, centrada en definiciones. En este sentido conviene preguntarse si las demandas curriculares del practicante resultan tan fuertes que priorizan sus acciones evaluativas, teniendo que acudir a protocolos como la previa en la que debe privilegiar contenidos conceptuales y sobre todo enfocarse en definiciones. Adicionalmente, como parte de este proceso de construcción de conocimiento didáctico, conviene preguntar si la dinámica de la clase debería centrarse en la explicación del profesor y asumir una perspectiva lineal en donde hay que poner atención a lo que el profesor informa, pues esto es básico para resolver ejercicios, es decir, ¿por qué la enseñanza del campo eléctrico debe desarrollarse a partir de lo teórico e ir hacia la aplicación en ejercicios de lápiz y papel? ¿Es este un conocimiento didáctico que forma parte de la "cultura" universitaria y que se reproduce sin mediación o reflexión pedagógica? ¿Es el campo eléctrico un concepto tan complejo que resulta mejor definirlo primero para luego aplicarlo en ejercicios? Por último es prudente mencionar que no se determinan elementos del eje dinamizador.

En el siguiente capítulo se contribuye con la caracterización del CDC de Daniel como complemento del panorama del CDC que hasta el momento se ha sintetizado por medio de las tablas 31 y 32 en relación con la hipótesis de progresión. Esto se presenta como fase final del proceso de triangulación de las fuentes de información, y se ha organizado en proposiciones con pretensión de metáforas construidas a partir de los resultados del análisis de los niveles I y II, anteriormente expuesto y el análisis cruzado con lo encontrado en la estimulación del recuerdo.

## Del proceso constructivo de la hipótesis de progresión

La hipótesis de progresión sobre el CDC en relación con la enseñanza del campo eléctrico se construyó en el desarrollo de la investigación. En efecto, para todas las

categorías componentes de la hipótesis se llevó a cabo un proceso de análisis y contrastación tanto de los referentes teóricos que la fundamentan, como de los procesos que se vivenciaron en el acompañamiento y análisis de los datos. En este sentido, conviene aclarar que la hipótesis que se presentó en el capítulo 2 del presente informe, es el resultado final del proceso señalado. A manera de ilustración se presenta a continuación un ejemplo del cambio de la hipótesis para una de las categorías.

**Tabla 32.** Síntesis general

| Fuente | Componentes CDC | I | II | III | IV |
|---|---|---|---|---|---|
| | C | | | | |
| [ENC] | I | | | | |
| | A | | | | |
| | E | | | | |
| | C | | | | |
| [ENT] | I | | | | |
| | A | | | | |
| | E | | | | |
| | C | | | | |
| [PA] | I | | | | |
| | A | | | | |
| | E | | | | |
| | | | | | |
| | C | | | | |
| | I | | | | |
| [CLA] | A | | | | |
| | E | | | | |
| | C | | | | |
| [LAB] | I | | | | |
| | A | | | | |
| | E | | | | |
| | C | | | | |
| | I | | | | |
| [ER] | A | | | | |
| | E | | | | |
| Encuesta: [ENC]; entrevista: [ENT]; planeación: [PA] | | | | | |
| Sesión de clase: [CLA]; laboratorio: [LAB];Estimulación de recuerdo: [ER] | | | | | |
| C: Contenidos; I: Ideas de los estudiantes | | | | | |
| A: Actividades; E: Evaluación | | | | | |

**Nota:** Síntesis global fases de investigación.

# Análisis general

Este capítulo presenta un análisis general del caso de la enseñanza del campo eléctrico en concordancia con los resultados obtenidos y los objetivos de la investigación. Respecto a los dos primeros objetivos conviene destacar que, en el capítulo tres, se identificaron y caracterizaron los cuatro componentes del CDC que el profesor de Física en formación inicial tuvo en cuenta tanto en la fase declarativa como en la de acción y en la estimulación del recuerdo. En lo que sigue se presenta tanto la contrastación como la integración de los componentes del CDC en cuanto a metáforas. Estas permiten valorar no solamente las posibles inconsistencias entre lo planeado y lo ejecutado, sino evidenciar un sentido completo de las acciones del profesor practicante. Es decir, con las metáforas se pretende identificar las relaciones entre los componentes del CDC entendido desde una perspectiva más global que lineal-causal. Se organizan las metáforas que contienen mayores poderes descriptivos no solo por la cantidad de unidades de información que la soportan, sino por sus cualidades explicativas.

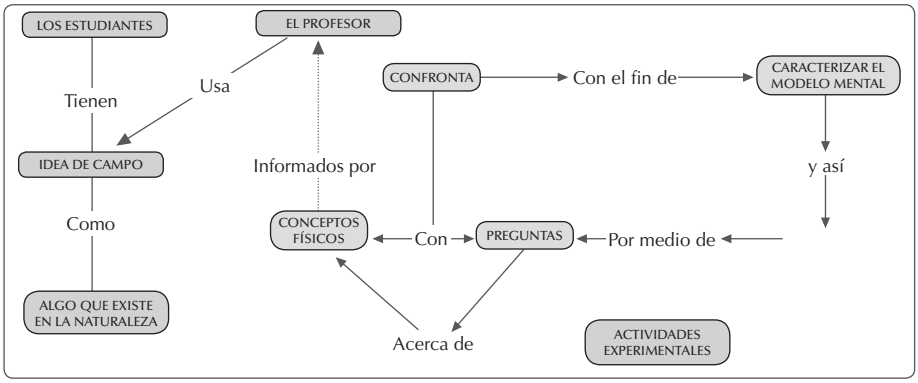
Para la construcción de las metáforas se consideró la perspectivas de Lakoff y Johnson (1995) quienes plantean: "La esencia de la metáfora es entender y experimentar un tipo de cosa en términos de otra" (p. 41). Es decir, que la manera en que se encuentran relacionados los componentes del CDC se puedan comprender en términos de otra cosa y no necesariamente a partir de sus definiciones intrínsecas. La metáfora como hecho semántico implica que una palabra o expresión —que tiene un sentido propio —, pasa a tener un sentido figurado o, dicho de otro modo, se emplea para llamar a una realidad con un nombre que no es el suyo sino el correspondiente a otra diferente.

Asimismo, la metáfora es un vehículo de expresión y construcción de modelos de pensamiento y conocimientos sobre la realidad, además puede ser utilizada como instrumento de análisis ya que evidencia una vía de estudio con la que es posible descubrir, conocer y comprender sistemas de pensamiento y visiones sobre la realidad. Para Román (2007) "el uso de metáforas, lejos de ser un ornamento, es eminentemente teórico en su sentido primigenio de permitir una visión global de algo. 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). La metáfora no solo puede servir para expresar una cosa en términos de otra, también permite establecer relaciones entre cosas "… cumpliendo una función hermenéutica de ofrecer la posibilidad de una visión total del objeto de estudio. Es decir cumplen con la posibilidad de construir teoría" (Román, 2007, p 10). Es posible considerar que las metáforas establecen relaciones que se van construyendo a través de la parcialidad de cada una de ellas, en otras palabras "… se trata de una relación parcial, y no total, de un movimiento progresivo y constructivo, cuya contingencia, provisionalidad y parcialidad, invita a la necesaria participación de otras metáforas, en ese ejercicio de nombrar, comprender y construir lo social" (Román, 2007, p 10).

## Moldear las ideas como mecanismo didáctico

Las ideas de los estudiantes son útiles en clase, por esto Daniel las reconoce y les imprime una utilidad concreta: confrontarlas con las que él lleva al aula [18-ENT] para guiar a sus estudiantes a nuevas ideas, más coherentes, más físicas [7,8-ENC]. Pero el papel de guía involucra tareas específicas en relación con su misión de llevar por buen camino a los estudiantes. En efecto, Daniel se visualiza como un profesor que "encamina" a sus alumnos "moldeando" [16-ENT] sus modelos mentales, proceso en el que pueden surgir nuevas ideas en los estudiantes especialmente a la hora de llevar a cabo experimentos en clase, frente a lo cual estará atento para desarrollar las preguntas pertinentes.

**Figura 54.** Confrontar y moldear, modelo de interacción de Daniel con sus estudiantes



Una aproximación a este proceso de "modelar" tiene que ver justamente con el modelo de campo eléctrico que él supone tienen los estudiantes. Aquí, según Daniel, los estudiantes no necesariamente identifican el campo eléctrico con cargas o descargas [18-ENT], más bien tendrían una imagen de que el campo es algo que existe en la naturaleza, es decir, cree que sus estudiantes le asignan una ontología al campo. El paso que sigue es fundamental, como se ha mencionado en la sección anterior, pues es con las preguntas e informaciones que Daniel llevará a la clase con lo que se puede comenzar a moldear las ideas de los estudiantes, por eso "… tiene uno que empezar a dar los conceptos para que los estudiantes comiencen a preguntar desde ahí…" [18-ENT], es decir: la confrontación. Este paso viene acompañado de preguntas y recurrencia a experiencias cotidianas como el frotamiento de globos o los efectos en el cuerpo cuando se saluda o se choca con otra persona, situaciones asociadas a la carga eléctrica. Sin embargo aquí Daniel asume algunas características del modelo mental de sus estudiantes, las cuales son: el campo eléctrico tiene que ver con la idea de carga eléctrica, los estudiantes no necesariamente distinguen los tipos de carga que producen un campo eléctrico, la frotación produce la carga, no tienen la noción de distribución superficial de la carga eléctrica [26-ENT], tampoco la idea de campo eléctrico se utiliza para explicar situaciones de inducción eléctrica como en el caso del globo.

De manera que la confrontación (ver figura 51) también brinda elementos que permiten caracterizar el modelo mental de los estudiantes, que se despliega al experimentar, como fase posterior a la confrontación teórica. En este punto Daniel supone que los estudiantes deben usar los conocimientos informados en la sesión teórica previa, y en particular deberán poner atención a la referencia sobre las cargas eléctricas a la hora de explicar el experimento con el electroscopio.

Las ideas iniciales de los estudiantes sobre campo eléctrico se pueden explorar al preguntar por situaciones de laboratorio con GVDG [LAB] o por vivencias cotidianas. Así, la experiencia de inducción como una forma de provocar el surgimiento de interrogantes en los estudiantes sobre el campo eléctrico, parece ser la más adecuada para Daniel; aun cuando pregunta por los efectos también indaga por la forma en que queda cargado uno de los cuerpos. Por ende, se le atribuye a los estudiantes una manera de comprender el proceso de electrificación, en particular que ellos no consideran la distribución de la carga. Asimismo, se aspira a que hablen de la atracción, es decir, frente a lo eléctrico se puede esperar algo relacionado con la atracción.

Sin embargo como se ha venido mencionando, la recurrencia a preguntas sobre situaciones cotidianas es importante para Daniel por cuanto eso revela las ideas de los estudiantes, permite ver cómo es su modelo de pensamiento y, aún más, corrobora el prejuicio de Daniel en el sentido de que los estudiantes "no tienen las herramientas" [59-ENT] para comprender inicialmente el lenguaje asociado al campo

eléctrico. En consecuencia, son ideas ligadas a las experiencias sin reflexión alguna, en las que pareciera que Daniel reconoce que los estudiantes tienen experiencias en la vida, pero no conceptualizadas por su complejidad porque "como nunca lo han escuchado [el campo eléctrico]" [59-ENT].

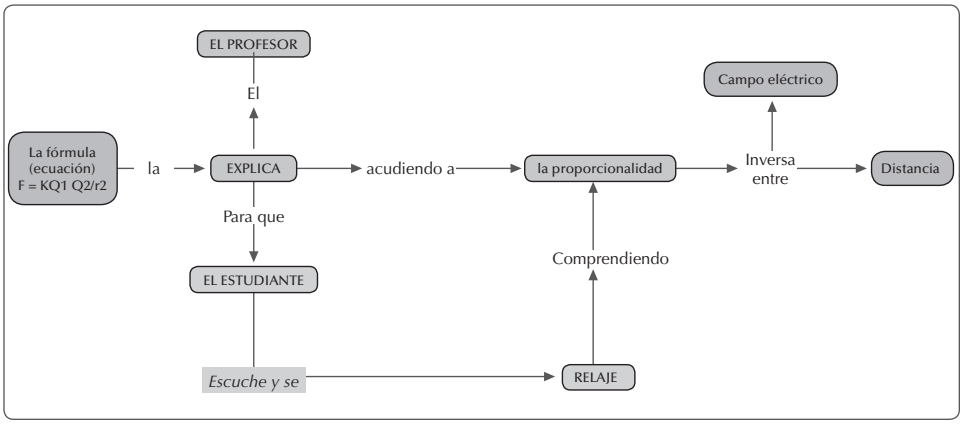
Esta situación adquiere un matiz algo diferente cuando se trata del concepto de carga eléctrica; Daniel enfatiza la posibilidad de verlo en analogía con la idea de gravedad: "… lo de la carga ellos [los estudiantes] tendrán la analogía de que es algo parecido a la gravedad o que una carga atrae otra carga o repele otra carga, ¿sí?", o "…por ejemplo cómo puede ocasionar un rayo, o sea, porque un pararrayos atrae un rayo, ¿sí? [51-ENT].

## 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. Por esto, con la idea de "sin la fuerza, ni pío" se construye esta interpretación del valor de prerrequisito que adquiere el concepto de fuerza, en el que 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 que "no se preocupen de ecuaciones, las ecuaciones, las fórmulas son tal y tal" [273-ENT]. Este es un enfoque explicativo; el papel de Daniel es disminuir las tensiones con los ejercicios, dotándolos 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 (ver figura 51) 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 prevenciones o prejuicios negativos que los estudiantes tienen sobre las ecuaciones. Sin embargo tal como se ha determinado en el capítulo anterior, 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.

**Figura 55.** La explicación de la fórmula




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:

> 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, qué 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. A él le interesa que sus estudiantes: "Aprendieran más o menos el concepto, pero con una ecuación ellos no…" Y 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. La situación 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 tome 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 está localizada o no una carga de prueba es ese punto" (p. 12). Esta situación, aunada con 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 tal vez entienda que lo mejor es explicarles a los estudiantes que el campo es lo mismo que la fuerza para así hacerlo "elemental".

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 los libros de texto. Este proceso de aprendizaje requeriría una base, es decir, "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 el profesor practicante hace en la encuesta (ver apéndice A), 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 prerrequisito, sino desde la idea de máxima o mínima relación con el campo eléctrico. Se aprecia cómo 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 líneas de campo. Ratifica así los conceptos *elementales* y los conceptos *primarios* que a su juicio se requieren para la enseñanza del campo eléctrico. Consecuentemente, el profesor practicante 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[2]) 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 quedan en el plano de una comparación más sobre la

2 En Colombia la enseñanza se organiza en ciclos; el grado 10° pertenece al último ciclo y es el penúltimo grado.

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 toma desde la idea de campo gravitacional como un tema que se ha visto en grados escolares anteriores, y no como una estrategia de pensamiento. Esto implicaría una perspectiva de prerrequisito que considera el 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 alumnos 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: "Por eso le dije aquí, que las leyes de Newton… ¿se acuerda?… aquí la tiene 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. Asimismo, 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 prerrequisito, especialmente al hacer los ejercicios de lápiz y papel (ejercicio en el que hay una esfera cargada eléctricamente que cuelga de una cuerda de manera pendular), porque allí supone 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 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].

**Tabla 33.** La fuerza como conocimiento base

| | Sin la fuerza no hay certeza |
|---|---|
| | Si no sabes sumar vectores fuerza no sabes sumar vectores campo eléctrico. |
| | Si no sabes graficar los vectores fuerza sobre un cuerpo, no sabes graficarlos sobre una carga eléctrica. |
| | Si sabes qué es el campo gravitacional, sabrás lo que es el campo eléctrico. |
| | Si sabes determinar la fuerza gravitacional sobre un cuerpo, sabrás determinar la fuerza eléctrica sobre una carga. |

## El valor de la contienda

Tanto en la fase declarativa como en la fase de acción, Daniel procura un ambiente de interacción con sus estudiantes en el que resulta importante validar algunas estrategias de solución de ejercicios de lápiz y papel, que lo lleva a reflexionar sobre sus propias luchas para comprender la aplicación de las fórmulas (ley de Coulomb y campo eléctrico).

Como reflexión previa a su sesión de clase sobre el campo eléctrico, Daniel considera que la motivación y la experimentación serían muy provechosas para los estudiantes, piensa en algunas preguntas como "¿qué pasa si ponemos un globo de carga positiva y […] frotamos con una lana un tubo,¿ que pasaría si acercamos el tubo? ¿Cómo se cargaría ese tubo?" [20-ENT]. Y configura posibles respuestas de sus estudiantes proponiendo cosas como "… ellos dirán que se puede cargar positiva o negativamente" [22-ENT]. En este primer, momento Daniel comienza a dar rienda suelta a la imaginación sobre el experimento, al especular que la respuesta de los estudiantes los debe llevar a la práctica con los materiales mencionados, adicionando un electroscopio ya que el estudiante "… tendría que investigar qué hace la lana para cargar el tubo, que es un laboratorio que tengo planeado con electroscopio aquí, como hay electroscopio y un tipo de museo" [22-ENT]. Estas posibles actividades manifiestan cómo Daniel no solo quiere preguntar por los efectos del movimiento sobre el globo o la aguja del electroscopio, sino también por la forma como queda cargado uno de los cuerpos.

La actividad de motivación se centra, entonces, en hacer preguntas sobre la carga eléctrica, supone que a los estudiantes les inquietaría saber los efectos sobre el tubo, pero dado que piensa dirigir la inquietud hacia la carga para así identificar la dualidad (carga positiva o carga negativa) y posiblemente abordarla en un experimento, no dice nada sobre la idea de campo eléctrico ni menciona su posible articulación con la pregunta motivadora. Considera, además, que es en el laboratorio donde esto tendría sentido y especialmente en relación con el electroscopio, por eso comenta: "En el laboratorio […] después de lo del museo hacemos lo del electroscopio para ver si entendieron algo de lo que ellos hicieron, que es parecido a lo mismo que van a hacer ellos" [28-ENT]. Esta idea de desarrollar el laboratorio tipo museo consiste en facilitarles a los estudiantes un espacio de práctica demostrativa que cada grupo prepara y lo presenta al profesor y a sus compañeros de curso. Con esto también entiende que los estudiantes se cuestionarán entre sí, y en este sentido propone la valoración de los procesos de puesta en común en la construcción de conocimiento, y valida la idea de *la explicación* como recurso de comunicación y expresión de lo que se piensa del fenómeno.

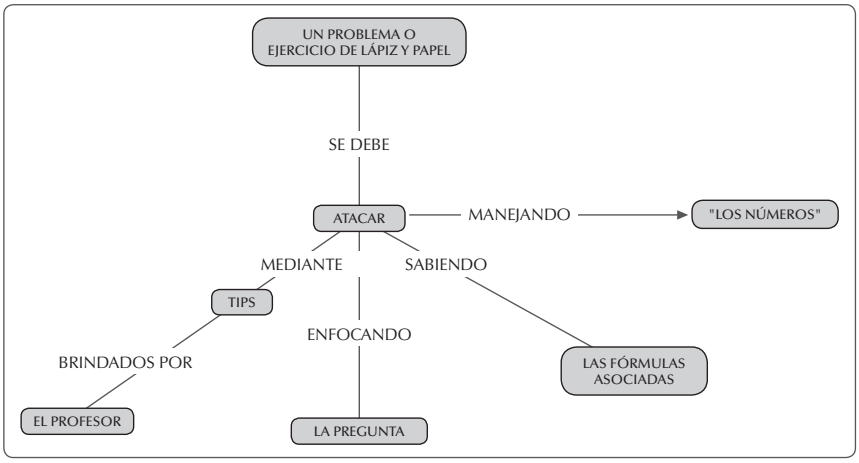
La motivación de los estudiantes tiene un significado especial para Daniel; por un lado se encuentra asociada a la empatía que logre con sus estudiantes pues él no se ve a sí mismo como alguien con mando o con poder sobre ellos, más bien prefiere "ser el que los guía, el que les dice, pues hagan tal vaina" [45-ENT] y en tal sentido

comportarse como “el confidente” [45-ENT], frente a las dudas que tengas sus estudiantes, pero estas dudas son netamente de carácter académico, entendidas desde la perspectiva de la comprensión de los temas. Por medio de esta forma de motivar a los estudiantes Daniel se propone confrontar la visión tradicional: “Viene el profesor callado, que es quien nos da la mala nota” [45-ENT], es decir, para él la imagen del profesor no debe estar asociada con la manipulación del estudiante por la nota.

Por otro lado, la idea de motivación también se asocia a las actividades procedimentales con la generación de situaciones que permitan aflorar la curiosidad, aspecto que, aunque reconoce como complicado, considera que es posible desarrollar mediante la experimentación, de manera que si los estudiantes preguntan por lo que sucede, por el fenómeno, este es un gran indicio de curiosidad, así se hace importante que los estudiantes “se pongan curiosos, o sea, que se digan ¿qué paso ahí?” [47-ENT] y propone que va a enseñar algo procurando desarrollarles la conciencia de lo que están aprendiendo, es decir, que los estudiantes “tienen que tener en cuenta que lo que se está viendo no es solo es por ver, sino para mirar qué es lo que pasa en realidad” [47-ENT].

Daniel también considera que los ejercicios de lápiz y papel —o “problemas”— son importantes como actividades de clase, pero estos no siempre deben ser cerrados, pues hay que contemplar “unos problemas que sean abiertos y que ellos [los estudiantes] respondan y ataquen desde varios puntos de vista” [30-ENT]. La propuesta de Daniel le implica reflexionar sobre el rol tradicional que han tenido los ejercicios de física en su formación como profesor, ya que hace una crítica a este tipo de actividad cuando se orienta a satisfacer las demandas del docente para que quede “contento”, sobrepasando así las de comprensión de sus estudiantes.

**Figura 56.** Una representación de la contienda

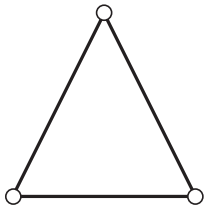


En esta dirección es cuando Daniel considera que los ejercicios o problemas deben poner al estudiante a demostrar sus conocimientos y no "solo un manejo de números" [30-ENT]. Al parecer, el carácter principal que tendrían este tipo de problemas es el de permitir un trabajo conceptual de la física en lugar de un uso netamente matemático.

En este proceso Daniel se ha venido involucrando en las sesiones iniciales de su práctica docente, especialmente cuando tiene que darle un manejo alternativo a los problemas de lápiz y papel asignados por el profesor tutor; aquí su tarea como practicante es ayudar a los estudiantes a considerar el papel de la fórmula y de los algoritmos como si fuera una "lucha" o metáfora de contienda entre el estudiante y los ejercicios de lápiz y papel, en que "los números" parecen ser los representantes de los ejercicios, y la autoestima, la autoconfianza y la autocredibilidad representan a los estudiantes.

Esta mirada algo animista de la interacción con el conocimiento físico asociado a los procesos de solución de ejercicios, se puede relacionar con el enfoque realista comprobatorio asignado a las prácticas experimentales que se han venido comentado. Así, "atacar la pregunta" [49-ENT] resulta ser una estrategia de la contienda (ver figura 53) en la que se debe involucrar una o un grupo de "fórmulas matemáticas" [49-ENT] como herramientas o armas que tiene el estudiante, aunado a procesos de motivación que Daniel propone diciendo que invitaría a sus estudiantes a no dejarse amilanar por los comentarios de sus profesores cuando expresan sus ideas [49-ENT]. Esta motivación se encuentra asociada también al desarrollo empático de las relaciones con su estudiantes dado que se concibe como un "guía", podría, seguramente ser como el "confidente" [45-ENT] en lugar de asumir el rol de profesor que siempre "da la mala nota" o manipula a sus estudiantes.

**Figura 57.** Dibujo de Daniel para complementar la explicación del ejercicio sobre cargas eléctricas en el triángulo

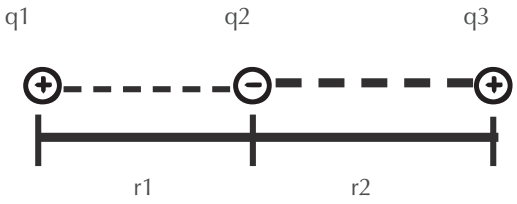


En la sesión de clase Daniel decide explicarles a los estudiantes algunas claves para la "lucha" con los ejercicios; les pregunta y les afirma: "[…] el ejercicio como es, porque si lo hago no tiene la gracia… ±…", es decir, no se lo resuelve en detalle sino que trata de develar la lógica de la solución, que incluye procurar una interpretación del contenido del texto que compone el ejercicio. Dado que los ejercicios planteados requieren responder la pregunta sobre la fuerza neta que actúa sobre una

carga eléctrica dada y que se encuentra geométricamente organizada en relación con otras cargas eléctricas, el profesor practicante procede preguntar: "¿Qué fuerzas actúan ahí?", "¿qué fuerza actúa?", "¿qué fuerzas actúan sobre la carga?", "¿cuál sería la fuerza total sobre las cargas?" [CLA-042], situación que complementa mencionándoles que "el triángulo equilátero… diciendo que los ángulos son iguales" [CLA-042], para luego cuestionarlos sobre el signo de las cargas, la determinación de la fuerza, así como de la fuerza neta.

Esta forma de proceder se reitera con otros ejercicios [CLA-043-CLA-087] que habían sido dejados de tarea, en particular en el de las tres cargas colineales (ver figura 58). En él Daniel acude adicionalmente a mencionar la importancia de considerar los diagramas de fuerzas en el proceso de solución y llama la atención de sus estudiantes sobre la lectura del texto del ejercicio diciéndoles: "Entonces ustedes dibujan las fuerzas… ahí dice que las dibuje…" [CLA-054].

**Figura 58.** Caso de cargas colineales




Las claves para la contienda acuden a procesos interpretativos del texto del problema, a centrar la atención ante lo que se les solicita en este, y especialmente a utilizar los conocimientos sobre vectores y superposición de fuerzas. La estrategia es procurar que con estas claves los estudiantes comiencen a trabajar en los ejercicios y así poder intervenir luego como profesor o, en último caso, resolver el ejercicio.

Estas claves y estrategias no surgen necesariamente de manera espontánea en la clase, sino que más bien devienen de experiencias académicas anteriores que Daniel ha tenido que afrontar. Durante la estimulación del recuerdo Daniel evoca la situación de clase cuando los estudiantes preguntan por el ejercicio de lápiz y papel acerca de una carga eléctrica que cuelga de un péndulo. Al respecto le surge la inquietud sobre lo que había hablado con el estudiante pues este le pregunta por la fuerza normal para este caso. La interacción entre Daniel y el estudiante sobre el concepto de fuerza normal se da en varios planos; por un lado Daniel siempre está atento a cuestionarse: "¿Será que entendieron cuál es la fuerza que actúa ahí?" [ER-19], es decir, si ellos comprenden la idea de fuerza normal como una fuerza de interacción entre cuerpos. Por otro lado se pregunta si sus estudiantes diferenciaron entre el caso del péndulo donde hay una tensión y el de un cuerpo que reposa sobre otro donde hay una fuerza normal. Sin embargo la preocupación está asociada a la nominación de la fuerza. Al respecto Daniel manifiesta en la sesión de estimulación del recuerdo.

> Pues, lo que yo decía; asumí que sabían* fuerzas de Newton, leyes de Newton y lo que era cada fuerza// *A mí, * me habían dado una respuesta, de que era una normal…*, el muchacho el que estaba al frente, que yo le pregunte*, una anterior sesión*…
>
> Con esa respuesta, yo me quedé pensando: ¿Será que sí entendieron eso? // Cuando yo me pongo a enseñarles… entonces, el muchacho, él mismo corrigió: ¡No, no, perdón, perdón, perdón... normal no, ¡normal no! // Y yo me quede mirando, y ¿si sabe por qué la normal no?… Dijo: ¡Sí, sí, sí!… y yo dije: Bueno, listo //
>
> Entonces, lo que yo les decía ahí: Solucionar el ejercicio no es complicado, ya tienen* los datos*.., hacen sumatoria de fuerzas y en el momento que hagan sumatoria de fuerzas… **, les dije, que el ángulo también se tenía en cuenta, para que no vayan a cometer el error, que yo cometía en el colegio, que nunca… me decían que ese ángulo formaba… hacia que… la tensión lo, bueno… el componente, … descomponer alguna fuerza, que tuviera ahí; en este caso la tensión…// [ER-19].

Daniel, por medio de experiencias ya vividas en su formación secundaria, reconoce la dificultad para comprender la descomposición de fuerzas, en especial debido a la ausencia de explicación por parte de sus profesores. Sin embargo la enseñanza de claves para la contienda en ocasiones no es suficiente, y hay que acudir a tomar decisiones para enseñar con el ejemplo, así, durante el diálogo con sus estudiantes sobre la tensión, decide hacer el ejercicio, debido a que detectó preguntas sobre la manera de comprender la descomposición de la fuerza de tensión en el péndulo, aspecto clave en el proceso de análisis de fuerzas y sumatorias de fuerza. Daniel relata:

> …// Entonces, yo *, yo les daba una fuerza eléctrica, y pues, la tensión estaba descompuesta^…// Está en el eje X y era una tensión del eje Y ...±…// Lo que yo les estaba diciendo era que de ahí se podía despejar la tensión…**; ellos me empezaron a preguntar sobre lo mismo// Entonces, yo dije, pues, la única será solucionarles el ejercicio, para que lo entiendan y así, pues, cuando tengan algo parecido no vayan a tener esa misma dificultad [ER-19].

De manera que aquí Daniel asume el rol de líder de la contienda, explicando el ejercicio aun cuando esto altere el rumbo de su clase.

**Tabla 34.** La metáfora de la contienda

| | El valor de la contienda |
|---|---|
| | En la clase hay enfrentamientos entre los números y los estudiantes. |
| | Recordar las dificultades personales cuando se aprendía. |
| | Preguntar al estudiante si sabe qué fuerzas están presentes en la situación. |
| | Graficar las fuerzas y descomponerlas. |
| | Determinar el ángulo de una fuerza respecto a un eje imaginario. |
| | Hay que entender el contexto del ejercicio. |
| | Aplicar las leyes de Newton significa usar el principio de superposición para determinar la fuerza neta. |

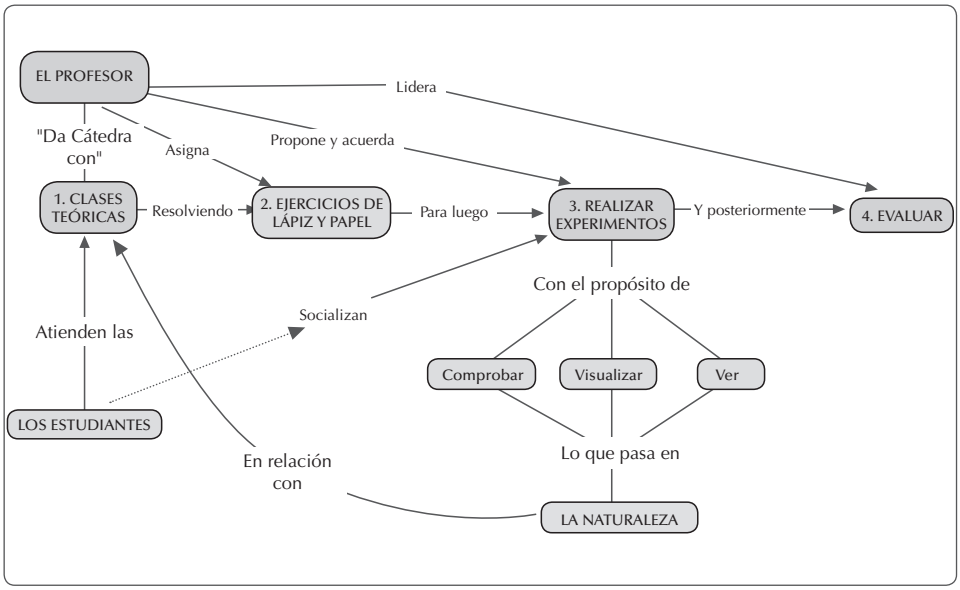
## El que sabe... sabe

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 deja clara su concepción del experimento en la clase de Física como espacio para comprobar 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], además de satisfacer sus intereses primarios, por ello "uno tiene que impactarlos con algo que se vea […] que les cause curiosidad", todo fuertemente influenciado por su deseo de que "ellos [los estudiantes] 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 y electrización por frotamiento. En el caso de la propuesta de trabajo con el GVDG se observa cómo 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 comprobatorio de que lo que se dice en la teoría física, de verdad sucede en la naturaleza. A manera de ejemplo, Daniel propone acercar 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 no aborda esta experiencia.

En otra situación, Daniel propone generar una chispa con el GVDG. En esta experiencia, también demostrativa, cree 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 él la chispa con el GVDG es similar al rayo en las nubes; el pararrayos cumple la función de atraer el rayo y se asemeja con el 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, es necesaria la presencia de tales "partículas" cargadas eléctricamente para que haya campo eléctrico. Sin embargo esta asociación entre chispa, rayo, pararrayos, nubes y campo eléctrico ya está elaborada previamente en el profesor practicante, 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.

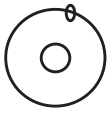
**Figura 59.** Representación de la secuencia de actividades de la planeación de Daniel




Se manifiesta así una consistencia en los argumentos que el profesor practicante 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. 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 él planea requieren primero información teórica pues "ahí va el orden, lo 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 dónde reforzar lo que ellos están haciendo" [129-ENT]. Aunque eventualmente consideraría adecuado comenzar sus clases con actividades experimentales, su criterio didáctico de la secuencia de actividades esta mediado por una forma más bien acumulativa de transmisión del conocimiento físico (y en cierto sentido racionalista puro) que les permita a los estudiantes experimentar solamente cuando posean los conocimientos previamente trabajados en la clase. "Los ejercicios" también forman parte de este conocimiento, en especial al considerar la relevancia que le da a la metáfora de la contienda como actividad de preparación de sus estudiantes. En síntesis, el profesor practicante 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 como cuando a uno lo

invitan a jugar y le advierten que este juego solo lo conocen unos cuantos y que para poder jugarlo debe saber primero las reglas, como uno no pertenece a esos "cuantos" prácticamente nunca podrá ver la maravilla del juego, ni mucho menos divertirse, de pronto lo dejan participar de momentos haciéndole creer que sus ideas son valiosas, pero en últimas uno nunca podrá comprenderlo.

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

| | | |
|---|---|---|
| 90 | [29:04 - 29:08] **hoy vamos a trabajar con campo eléctrico, ya...**…// | |
| 91 | [29:09 - 29:44] P. F: Entonces, vamos a ver: qué 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 ya habíamos visto lo que era fuerza, ¿cierto?, y esa fuerza era porque había un campo eléctrico, ± | [Hace un dibujo en tablero, en donde se supone que relaciona la Tierra y la Luna]  [Señala constantemente el tablero y a su vez se dirige a los estudiantes] |
| 92 | [29:45 - 29:56] P. F: ¡Entonces!, teniendo ese campo eléctrico nosotros teníamos una fuerza… ¡Entonces!, lo que hacían era coger ese análisis y plantearlo con lo, con lo del átomo…// | [Hace un dibujo relacionando el átomo]  |
| 93 | [29:57 – 28:] P. F.: Que lo hacía que permaneciera en órbita el electrón, era ese campo eléctrico, ±….//. 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… | [Señala constantemente el tablero y a su vez se dirige a los estudiantes] |

De esta manera el profesor practicante acude a una referencia impersonal y menciona que otros han elaborado tales explicaciones y, al parecer, su papel consiste en contarlo, proceso en el cual relaciona 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]. Con ello expresa, 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.

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 el profesor practicante reflexiona acerca de la pertinencia de la analogía. 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], ya que este concepto se enseña en el grado anterior. Con ello supone 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 prerrequisito que tendrían aquellos conceptos y que a su juicio pertenecen al mundo macroscópico, y lo que habría que hacer es extrapolarlos al mundo de lo microscópico.

Adicionalmente, cuando el profesor practicante 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], con lo que manifiesta su percepción acerca de la idea de los estudiantes en torno 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 su experiencia como estudiante respecto a la confusión de los conceptos fuerza y campo (resaltado).

Nótese, entonces, que se presume la confusión con base en la explicación misma del profesor practicante y en la interpretación que hace de las ideas de sus estudiantes. 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. Él no necesariamente acude a la organización discursiva para explicar 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.

**Tabla 35.** El profesor debe saber

| | ***El que sabe, sabe*** |
|---|---|
| | El que sabe física sabe enseñar. |
| | Si el profesor es ordenado es porque sabe. |
| | Primero hay que saber la teoría para luego experimentar. |
| | El experimento no es para jugar, es para comprobar lo que se sabe. |

## El narrador ausente

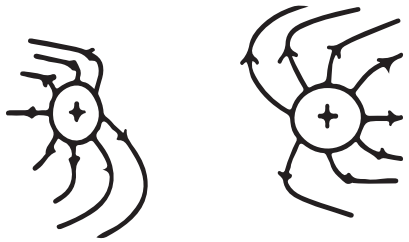
Una imagen que se desprende de la sesión de clase, así como de sus reflexiones sobre esta, consiste que en Daniel es un contador de historias. En efecto, el estilo impersonal que le imprime a la definición del campo eléctrico, a la asignación del carácter de representación a las líneas de fuerza y a su respectiva asociación con la carga eléctrica, ponen al profesor practicante en un lugar nada protagónico en la construcción de conocimiento físico, y mucho menos del conocimiento didáctico autónomo desde la perspectiva de la transposición didáctica. Esta situación se desprende del análisis del momento en que enseña las líneas de fuerza, cuando habla del campo eléctrico. En su explicación sobre las líneas de fuerza, por ejemplo, adiciona el relato de la definición del campo eléctrico; primero cuenta qué decidieron los científicos (los otros) sobre este concepto y luego relata su idea de 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 lo hace a manera de relato, quiere contar lo que los demás decidieron y en tal sentido la voz del Daniel no existe. Al respecto, desde otra perspectiva, la falta de empoderamiento en el relato puede ser considerado como una manifestación de las dificultades de comprensión de los estudiantes universitarios sobre el campo eléctrico, asunto abordado por Furió y Guisasola (1998, 1999, 2001), quienes revelan que estos problemas están asociados a los enfoques epistemológicos con que se trata el campo eléctrico.

| | | |
|---|---|---|
| 95 | [30:43 – 31:15] P.F: bueno, el campo eléctrico lo vamos a señalar con, con la flechita, ±;… ♣♣♣♣ qué va a ser muy diferente a la fuerza que nosotros estamos trabajando…//<br>Entonces, que decían ahí...// Bueno, como se aprecia la carga, también tiene que depender de la carga, ±….// Llegaron a que, bueno, les voy a escribir la ecuación, ±...solo porque se den de cuenta, la conclusión a la que llegaron. | [Señalando constantemente el tablero y a su vez dirigiéndose a los estudiantes, moviéndose de un lado a otro] |
| 96 | [31:16 – 31:23] P.F: ♣♣ ♣♣ | |
| 97 | [31:24 – 32:10] P.F: ±, 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 ±...// 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, ±… es lo que hay que esté en órbita… | [Señalando constantemente el tablero y a su vez dirigiéndose a los estudiantes]<br>[Moviéndose de un lado a otro y asintiendo con sus manos] |
| 98 | [32:11 -33:03] P.F: ±, ¡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, ±...// ¡Entonces!, se hicieron las analogías para que se entendiera…// *** bueno, llegaron y dijeron: ya entendimos que es campo eléctrico, en pocas palabras, dijeron: qué es lo que crea una fuerza…// Entonces, decían… ♣♣♣♣<br><br>Cada carga debe tener sus líneas…***… ¿cómo le digo?, su línea de fuerza, bueno ±. | [Señalando constantemente el tablero con sus brazos abiertos y a su vez dirigiéndose a los estudiantes]<br>[mueve sus manos constantemente para tratar de hacer una mejor explicación del tema]<br>[Moviéndose de lado a lado y a su vez moviendo sus manos] |
| 99 | [33:04 – 33:29] P.F: que una carga positiva… va a tener líneas de campo hacia afuera,<br><br>±… ¡si una carga positiva tiene líneas de fuerza hacia afuera!…// ¿Cómo sería, cómo serían las líneas de fuerza de un campo negativo? | |

En este sentido conviene mencionar la manera como 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 estas (ver figura 60).

**Figura 60.** Representación de líneas de fuerza para dos cargas puntuales positivas (dibujo de Daniel en el tablero)



Es decir, no hay una limitación de las líneas al espacio que se encuentra entre las cargas. Asimismo, para el profesor practicante es importante que los estudiantes recuerden el efecto producido sobre dos cargas del mismo signo cuando estas se acercan, y comenta a sus estudiantes: "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 acude a contarles que "[…] 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 del profesor practicante en el relato de las decisiones de los científicos, y por el otro lado 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. Esa situación la relaciona con un experimento que no describe ni fundamenta, sino que más bien al que los estudiantes, que oyen atentamente, no tienen más opción que creer como acto de fe. En este sentido podría decirse que el ciclo del relato del profesor practicante pone énfasis en un conocimiento científico acabado de lo que otros hicieron, y sus estudiantes deciden creerle la información que él les brinda, por tanto enseñar es transmitir, contar, referir y creer.

Respecto de las líneas de fuerza, en la sesión de estimulación del recuerdo, Daniel enfatiza: "Yo no les di el concepto de líneas de fuerza pues este se utiliza como una representación" [ER-90]. Este matiz de presentación del concepto de líneas de fuerza deja en un segundo plano la secuencia definición-aplicación, que había calificado anteriormente como fundamental para la enseñanza del campo eléctrico. Al preguntársele sobre la importancia de enseñar los sentidos de las líneas de fuerza, comenta:

| | |
|---|---|
| 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… como 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 que le va ayudar en eso. |
| | |
| 93 | [06:54-07:32] ▶/: 🗑 |
| 94 | [Imagen en el tablero] |
| 95 |  |

| | |
|---|---|
| | ▶/: 🗑 |
| 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, si no para que analicen desde ahí… cuando están los dos cuerpos o cuando están… como sería la dirección del campo eléctrico ahí, algo así ±… entonces a eso es lo que podría referirme para explicar eso. |

Puede considerarse que Daniel reflexiona sobre su relato y cree que la mejor forma de referirse a este es que la información que él brindó es "cultura" 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 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 qué 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 orienta. En palabras de Daniel: "Yo les dije a los estudiantes, es para ver el campo eléctrico, pero no especifiqué para qué 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 tiene dos cargas eléctricas una al lado de la otra.

**Tabla 36.** El estilo del narrador: contador de historias

| El narrador ausente |
|---|
| La física fue hecha por otros. |
| Los profesores de física enseñamos narrando lo que hacen los demás. |
| El campo eléctrico fue un concepto elaborado por otros. |
| Enseñar el campo eléctrico por medio de su definición no debe involucrar al profesor. |
| Las líneas de fuerza fueron definidas por otros, quienes se las asignaron a las cargas eléctricas. |

## La búsqueda de la analogía perfecta: estrategia del relato

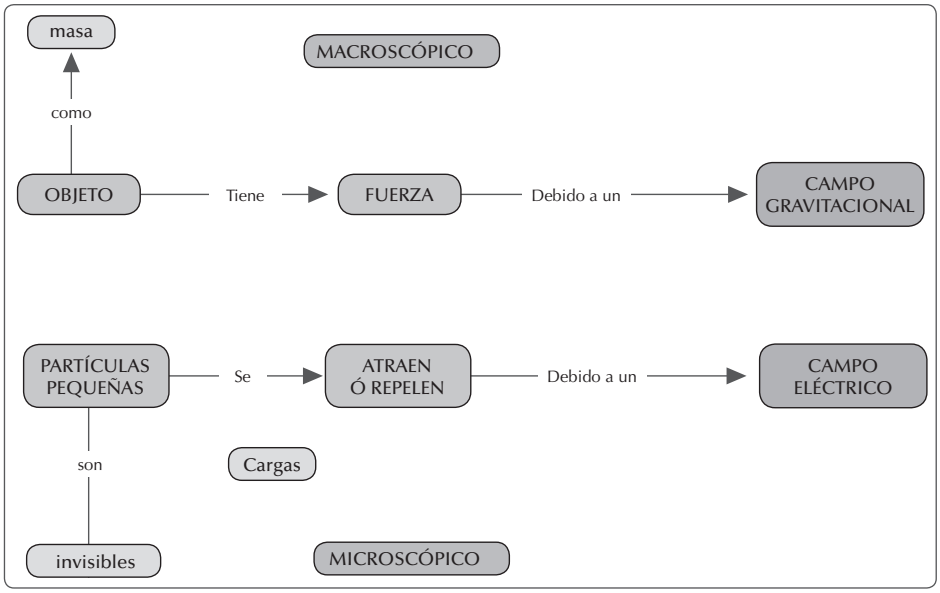
En las declaraciones previas a la sesión de clase el profesor practicante planea considerar la analogía como un conocimiento clave para la enseñanza del campo eléctrico. Comenta que quiere, desde una perspectiva que va de lo macro- a lo micro-, hacer la analogía del campo gravitacional con el campo eléctrico (ver figura 57). En efecto, para él se ubicaría en el grupo de actividades mentales que los estudiantes deberán llevar a cabo en el proceso de comprensión del campo eléctrico, en especial en razón a que los estudiantes ya se encuentran familiarizados con la idea de campo gravitacional. Con esto cree que para "entender el campo eléctrico la dificultad será poca, ya que ellos han venido trabajando con campos gravitacionales" [6-ENC], en otras palabras crea una relación causal: se comprende el campo gravitacional, por lo tanto se puede entender el campo eléctrico. No hay aquí un compromiso del profesor practicante por diferenciar las características propias de los fenómenos gravitacionales y de los eléctricos asociados a los dos campos (gravitacional, eléctrico), más aún, establece una especie de similitud a la hora de entenderlos: "como hay semejanzas [entonces] la manera de trabajar estos dos campos son parecidas" [6-ENC].

Sin embargo cabe aclarar que el profesor practicante considera la analogía del campo eléctrico con el campo gravitacional y con el campo magnético desde la perspectiva de la "atracción", por lo que es posible comprender el campo eléctrico de una manera algo animista y asumir implícitamente la acción a distancia, por ello piensa decirles a los estudiantes: "Les muestro algún objeto, 'esto tiene alguna fuerza, ¿cierto?', entonces eso se debe al campo gravitacional, entonces yo les digo, "en el campo magnético [refiriéndose al campo eléctrico] es exactamente lo mismo, solo es con cosas que usted al ojo humano no puede ver" [65-ENT]. El sentido animista y de corte realista lo reafirma cuando propone decirles a los estudiantes que para el caso del campo eléctrico se debe entender que allí son "partículas pequeñas que se atraen o se repelen, según sea o sea no solo es la atracción, también puede excitar una fuerza de repulsión, eso se ve en más cargas" [65-ENT]. Se evidencia, entonces, una intención de trasladar formas de entender el fenómeno gravitacional en el fenómeno eléctrico asociado al campo eléctrico con la idea de atracción, en el primero

de masa y en el segundo de cargas eléctricas, las cuales se considerarían como fundamentales para entender el campo eléctrico ya que "ahí ya tendría el concepto de carga, entonces puedo empezar a decir líneas de campo son dadas así, entonces les voy a poner situaciones diferentes de placas paralelas…" [65-ENT].

Así, la analogía se constituye en un recurso mental de asociación y de transición que le permite a Daniel su enseñanza y que, en últimas, lo lleva a que considere situaciones de similitud para su explicación como lo es el caso de comparar lo que le sucedería a un electrón en un arreglo de campo eléctrico de placas paralelas, con una pelota en un campo gravitacional (ver figura 58). Ahí la pregunta fundamental sería: "si usted deja soltar un electrón, ¿qué movimiento haría? Entonces es como si usted tuviera una pelota y la tirara así" [65-ENT]. Y la explicación que propone es que "[…] el campo de arriba, bueno si es positivo la va a tratar de coger entonces lo que hace el campo gravitacional es cogerla, o sea, tratar de que caiga; entonces el campo eléctrico es lo mismo tratar de atraerlo o repelerlo en el caso de arriba" [65-ENT].

**Figura 61.** Representación de la analogía entre campo eléctrico y campo gravitacional en Daniel




La analogía como actividad en el aula, para el contexto de la enseñanza del campo eléctrico tiene ciertas limitaciones para Daniel, que comienzan con la comparación entre la interacción entre cargas eléctricas frente a la interacción entre masas, ya que "el campo gravitacional son masas, la masa es algo que uno ve y en el campo eléctrico son cargas cosas que usted no alcanza a ver, entonces primero que todo la

diferencia de magnitudes" [117-ENT]. Se aclara aquí la naturaleza de los objetos que interactúan indicando las posibilidades de una o de otra; en el caso gravitacional se pone a la visión como evidencia de los cuerpos en interacción, y en el caso eléctrico se supone que por ser un problema de magnitud, las cargas eléctricas no se ven.

**Figura 62.** Representación de la analogía entre campo eléctrico y campo gravitacional




Se observa, entonces, que la mirada de las limitaciones del recurso analógico están mediadas por una idea de interacción a distancia, pues no se hace referencia alguna a las condiciones del medio, aun cuando Daniel caracteriza implícitamente la atracción como un aspecto que revela la naturaleza del fenómeno pues "en el campo eléctrico puede existir que se atraen o se repelen, o sea, hay una diferencia [con el campo gravitacional] hay una atracción pero que también hay una repulsión" [117-ENT].

Asimismo, el énfasis manifiesto en el orden de magnitud asigna al campo gravitacional un lugar en el mundo de las interacciones: lo macroscópico y, por otro lado "… en campo eléctrico va a ser microscópico" [117-ENT]. En este proceso se asocia una diferencia, pero no se explica porque sería una limitación la posibilidad de atracción (gravitacional) y de atracción-repulsión (eléctrico), aspecto que, como se ha mencionado, tiene que ver con las fuerzas y Daniel confirma que sería "casi lo mismo", y de manera correspondiente lo serían las distancias, es decir "lo mismo".

Ahora bien, la explicación que hace acerca del campo eléctrico, en la sesión de clase, se complementa con algunas comparaciones entre sistemas de pares de objetos físicos, por ejemplo: Tierra-Luna, Sol-Tierra, núcleo-electrón. Para este último expresa:

> Que lo hacía que permaneciera en órbita el electrón, era ese campo eléctrico ±….// Gracias a que tenía, que ese campo eléctrico producía una fuerza… dentro de ella ±... bueno, ±. // [CLA-093].

Es decir, para el profesor practicante la Luna orbita porque existe un campo generado por la Tierra, similarmente el electrón orbita porque existe un campo generado por núcleo atómico, en ambos casos la permanencia del movimiento orbital se le atribuye a la existencia del campo. Y en el caso del par núcleo-electrón aclara que la permanencia de la órbita no solo se debe a la existencia del campo, sino que es debido a que "… ese campo eléctrico producía una fuerza… dentro de ella" [CLA-093], de manera que liga el concepto de fuerza con el campo eléctrico, donde este es la fuente de la fuerza, aun cuando no menciona el mecanismo de transmisión de esta en el espacio, aspecto que podría entenderse le es inherente a la idea de fuerza

como acción a distancia. Asimismo, dado que el profesor practicante afirma que "la fuerza que había ahí se debía al campo eléctrico que estaba entre ellas, que era el espacio… que había entre ellos […]" [CLA-093] el campo eléctrico también se asocia a la idea de espacio limitado, es decir, a la sección de espacio comprendido entre las partículas cargadas (pareciera entenderse como una reducción del campo eléctrico generado por placas paralelas).

En la sesión de estimulación del recuerdo Daniel observa el evento asociado a la analogía, en él ejemplifica el campo gravitacional y el campo eléctrico con sus manos; las cierra y las enfrenta una a otra, para que sus estudiantes visualicen la situación. En sus términos, "estaba tomando de lo macro- a lo micro-, vea esta mano y vea esta mano [señala con sus manos las dos masas] en el espacio que hay entre esto, hay un campo gravitacional que genera una fuerza, por ejemplo las masas de la Tierra y la ruta de Sol" [ER-80]. Este ejemplo tiene varias referencias analógicas como la trayectoria de la Tierra alrededor de Sol, dos cargas eléctricas de diferente signo, y particularmente el núcleo y la carga. La idea de lo macro- a lo micro- tiene dos facetas, por un lado lo macro- se refiere al sistema Tierra-Sol y lo micro- a las dos cargas eléctricas puntuales, y una segunda faceta, en la cual lo macro- se refiere a las dos masas que él representa con sus dos manos cerradas, y la idea micro- lo referencia al núcleo-carga.

La analogía entre el campo eléctrico y el campo gravitacional resultó, tal como había comentado en la fase previa a la clase, un recurso importante y en el que Daniel procuró mantener una consistencia epistemológica, aun cuando no se hicieron explícitas todas las relaciones de sus componentes (ver tabla 37).

**Tabla 37.** Caracterización de la analogía en Daniel

| | | |
|---|---|---|
| Características similares | Campo gravitacional | Campo eléctrico |
| | Fuerza | Fuerza |
| | Distancia entre masas. | Distancia entre cargas. |
| | Animista ("cogerlo, tratar de que caiga). | Animista (tratar de atraerlo o repelerlo). |
| | Movimiento de masas. | Movimiento de cargas eléctricas. |
| Características diferentes | Masa | Carga eléctrica |
| | Macro- | Micro- |
| | Atracción | Atracción-repulsión |
| | Visible (orden de magnitud) | Invisible (orden de magnitud) |

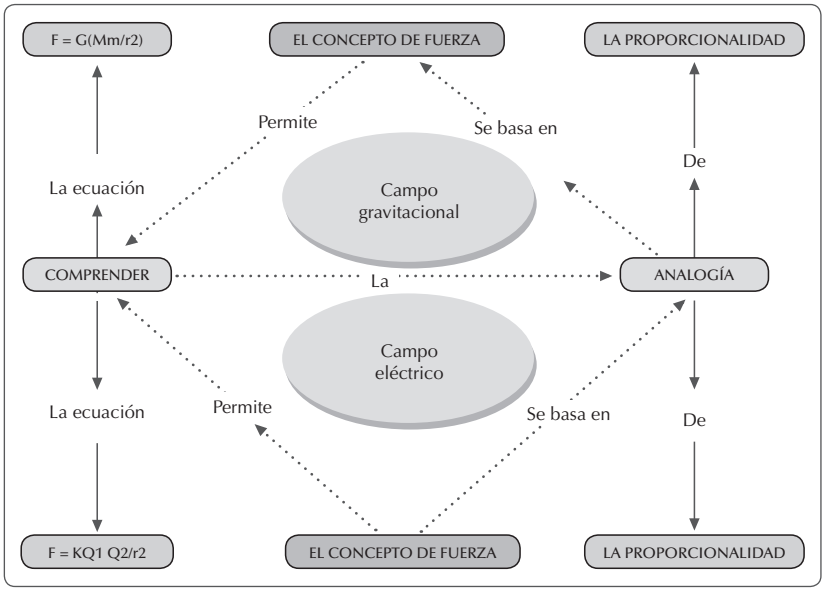
**Nota:** La analogía posee igual número de características similares y diferentes.

En este proceso de establecer analogías particulares, nuevamente se evidencia que para Daniel la idea de fuerza se hace fundamental tanto como concepto teórico derivado de las leyes de Newton, como concepto asociado a la ecuación de la ley de Coulomb, situación que regula no solo su planeación de los contenidos conceptuales, sino su propuesta de actividades, que en este caso se centra en considerar a los estudiantes como receptores de su discurso, aunque piensa generar un ambiente

donde ellos no tengan preocupaciones por las ecuaciones, y propone que él es quien las debe informar, en concreto les diría: "... no se preocupen de las ecuaciones, las fórmulas son tal y tal"[273-ENT] y pasaría a declararles que lo importante sería disminuir las tensiones con los ejercicios dotándolos 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. Si líneas de bueno, son inversamente proporcional al radio al cuadrado. Por eso lo que le decía de las líneas de campo" [273-ENT].

Con esto procura asumir un discurso pedagógico asociado a la construcción de un ambiente de aprendizaje de la física libre de prejuicios con las matemáticas (las ecuaciones), pero cierra su propuesta afirmando que terminaría con una actividad de evaluación donde lo mejor sería "[…] ponerles ejercicios con un campo eléctrico y [averiguar] cómo serían las fuerzas así, tipos de fuerzas y todo eso" [273-ENT]. Asimismo, planea las actividades iniciales asociadas a la enseñanza del campo eléctrico en su rol de profesor informador y como agente de disminución de tensiones entre las ecuaciones y los estudiantes. Nuevamente surge aquí la *metáfora de la contienda*, reforzada por su papel como mediador en la "lucha". Ahora bien, no le atribuye a la ecuación un sentido de representación de las relaciones entre el E (campo eléctrico), Q (carga eléctrica) y r (distancia), y más bien relativiza la complejidad de esta al asignarle al concepto de fuerza un poder explicativo mayor que la fórmula misma.

**Figura 63.** Importancia del concepto de fuerza en la analogía



En este sentido, la ley de Coulomb adquiere aquí relevancia por cuanto reafirma dos aspectos centrales: (a) la perspectiva de acción a distancia[3] y, (b) la analogía entre el campo gravitacional y el campo eléctrico (ver figura 63) vía la similitud entre la ecuación asociada a la ley de Coulomb y la ley de gravitación universal. Aquí conviene preguntar si para el profesor practicante el campo eléctrico es como la ley de Coulomb.

**Tabla 38.** La analogía caracteriza el CDC

| *La búsqueda de la analogía perfecta, estrategia del relato* |
|---|
| Lo micro- y lo macro-. |
| El par de cargas, el par de cuerpos. |
| Electrón-protón frente a Luna-Tierra. |
| Campo gravitacional frente a campo eléctrico. |
| Interacción a distancia similar a alteración del medio. |

## Matemáticas-física: Tensiones propias del campo

Cuando se le cuestiona a Daniel acerca de lo que quiere que los estudiantes aprendan con la ecuación del vector campo eléctrico [E= F/Q], su reflexión lo lleva a cuestionarse sobre la fórmula misma y considera que esta "particularmente no me da información física" [275-ENT] y cree que lo mejor es "precisamente darles lo elemental de esa ecuación" [275-ENT], pero lo que termina considerando como elemental de la ecuación es "decirles que hay una fuerza, un radio, […] una distancia, entonces según esta distancia depende que haya mayor o menor intensidad" [275-ENT], es decir, que su reflexión sobre la relación entre el campo eléctrico, la fuerza y la carga está mediada por su percepción del fenómeno, lo que para el caso se traduce en manifestar una visión de acción a distancia de la interacción eléctrica en la que tanto el campo eléctrico como la fuerza tienen origen en la carga. Sin embargo pasa luego a manifestar una idea de campo asociada a los efectos sobre una carga eléctrica en un punto del espacio, pues por un lado dice que "el campo eléctrico se debe a que una fuerza" e inmediatamente corrige afirmando que: "Una fuerza se debe a que hay un campo eléctrico" [275-ENT]. Este aspecto se ve reforzado cuando se le cuestiona acerca de los posibles aprendizajes de sus estudiantes sobre la ley de Coulomb[4], ante lo cual propone "que la fuerza se vea, que hay dos cargas, que debe haber una distancia de separación como en el campo gravitacional" [277-ENT]. Es decir, la analogía con el campo gravitacional permitirá comprender el campo eléctrico en lo que tiene que ver con los procesos de atracción de cargas eléctricas, ya que "entre mayor sea, entre menor sea pues depende la intensidad, […] lo que yo quisiera es que cogieran el concepto desde ahí" [277-ENT]. Sin embargo para

3 Esta situación también ha sido reportada por Furió y Guisasola (2001), quienes destacan la falta de una concepción epistemológica de campo en los estudiantes universitarios.

4 F= KQ1 Q2/r2

este caso él explicita las relaciones entre fuerza y distancia dadas por esta ecuación, así le interesaría que sus estudiantes comprendieran "… que significa que es inversamente proporcional y directamente proporcional. O sea, que significa que este multiplicado, o sea que hay dos cargas" [277-ENT]. Aquí se aprecia un interés más sesgado por exponer la naturaleza matemática de las relaciones en lugar de hacer un énfasis en su naturaleza de orden conceptual en el área de la física, y por tanto se evidencia que para él las matemáticas son estructurales en la enseñanza de esta. Por ejemplo, cuando en la sesión de estimulación del recuerdo evoca las razones que lo llevaron a escribir la fórmula del campo eléctrico deja ver su concepción del matrimonio entre la física y las matemáticas de la siguiente manera:

> […] En este sentido, pues ahí, yo proseguía a referirme a lo que era la fórmula, fórmula matemática…; porque todo está, toda la física está traducida a las matemáticas^ y en lenguaje matemático// Entonces, a mí me parece importante que ellos, también digan*, pues ese conocimiento de… más por que vean desde la matemática, cómo lo pueden explicar, o ¿cómo lo explicaría yo?; así... de una manera, ¿cómo le dio?…// Pues, como… de proporcionalidades, algo así. // Entonces, yo me baso más en tomar en cuenta, tomar la matemática y decir: Bueno, si fuerza es tanto, entonces, la…., el, es inverso al radio,…va depender de ese radio y va a estar en ese espacio que está ahí, o algo así…// [ER- 45].

Este contrato que Daniel le asigna a las matemáticas con la física, le resulta más bien pragmático a la hora de contar su relato sobre el origen de las fórmulas, así como en la explicación de las relaciones que se dan entre las cantidades que la componen, situación que refuerza un papel de la matemática como herramienta de comunicación desde un enfoque más bien pasivo.

Los análisis precedentes de esta característica del CDC permiten preguntarse sobre lo que termina siendo relevante en cuanto al conocimiento físico y didáctico para Daniel. La planeación, la sesión de clase, el laboratorio y la estimulación del recuerdo permiten también preguntarse si cuando se dice que algo debe saberse primero para poder entender otras cosas, se aplica para el caso de la enseñanza de este concepto en las condiciones presentadas. Es decir, si bien Daniel considera prerrequisito saber leyes de Newton, fuerza, superposición, campo gravitacional, entre otros, tanto en la sesión de clase como en la estimulación del recuerdo revela que debe tomar decisiones sobre lo que informa y enseña acerca del campo eléctrico. En particular, la decisión de narrar la construcción del concepto de campo eléctrico cuestionaría hasta dónde, entonces, el que sabe todos los prerrequisitos mencionados debería saber qué es el campo eléctrico, sin acudir necesariamente a relatar lo que otros saben sobre lo mismo. Así, poner en un tercero el conocimiento sobre el campo eléctrico indicaría, por tanto, que aún no se posee un discurso propio que conecte los conceptos previos con los que se desarrollan y muchos menos con aspectos de orden experimental.

La explicación de Daniel sobre el campo eléctrico se hace como un relato de elaboraciones conceptuales construidas por otros que "[…] llegaron a que decían, bueno, eso es el campo eléctrico, el espacio, el espacio que hay entre, entre cada carga […]" [CLA-098], Ahí se cuenta la lógica seguida por aquellos que determinaron esa relación y el énfasis de su explicación se centra en que los estudiantes puedan comprender tal lógica, que en últimas se refiere a la analogía entre campo gravitacional y campo eléctrico con las siguientes características:

a. La fuerza es producida por el campo.

b. Lo que en una se llama carga en otra se denomina masa.

c. En ambos casos se toma una distancia entre los objetos físicos.

d. El campo está asociado y a su vez limitado por el espacio físico existente entre los cuerpos físicos (cuerpos, masas).

# Conclusiones

Las conclusiones se presentan atendiendo el problema de investigación sobre las características del CDC del profesor de Física en formación inicial en la enseñanza del campo eléctrico; así como los subproblemas planteados al comienzo en el sentido de identificar en primer lugar las características de los componentes del CDC del profesor en la fase de planeación de la clase; en segundo lugar a caracterizar posibles relaciones entre estos componentes asociados al proceso de enseñanza interactiva y, en tercer lugar, a proponer algunas relaciones entre estos componentes y una perspectiva integradora del CDC.

La organización de estas conclusiones se desarrolla de manera estratégica considerando la perspectiva de ejes obstáculo, cuestionamiento y dinamizadores (Martínez, 2000) como recurso analítico que busca revelar la complejidad del CDC. Los ejes obstáculo comprenden concepciones o acciones que no facilitan el mejoramiento de procesos de enseñanza; los ejes cuestionamiento son concepciones o acciones que revelan tensiones o problemas, que no son abordados en los procesos de enseñanza, pero que podrían utilizarse para promover cambios reflexivos en esta, y los ejes dinamizadores son concepciones o acciones que contribuyen en el mejoramiento de la enseñanza.

## Componentes del CDC en la planeación de la enseñanza del campo eléctrico

Respecto a los contenidos de enseñanza se concluye un manifiesto interés por desarrollar contenidos conceptuales desde una perspectiva acumulativa-lineal, en que se asume la necesidad de los *prerrequisitos*. En este sentido, la intención de enseñar de manera inductiva (Anchorena, 1994) resulta la más adecuada para Daniel, validando así que la trayectoria de enseñanza y de aprendizaje en este caso es la que va de la teoría a la práctica.

| Contenidos | |
|---|---|
| **Obstáculo** | Existe un interés primordial por desarrollar conceptos desde una perspectiva acumulativa-lineal, que asume la necesidad de los *prerrequisitos*: fuerza→ ley de Coulomb-→ campo eléctrico (inductivismo).<br>El considerar que el trabajo de laboratorio debe girar alrededor de los contenidos conceptuales. |

Por tanto se constituye en *un eje obstáculo* la idea de considerar que los contenidos conceptuales son previos a las sesiones de laboratorio y deben estar consolidados antes de las prácticas experimentales. Este eje obstáculo se refuerza en la escasa explicitación en la fase declarativa de contenidos actitudinales y procedimentales, en especial en la identificación de características de lo que denomina la "participación" de los estudiantes y el trabajo en el laboratorio, aspecto que Pro y Saura (2000) señalan como conocimientos que no forman parte de una programación regular de los profesores de Física, debido al desconocimiento por cómo enseñarlos o por la poca relevancia que se les atribuye.

Ahora bien, en el componente de ideas de los estudiantes se concluye un *eje obstáculo* en la noción de *ideas prerrequisito* al campo eléctrico, y en especial al asumir las ideas de los estudiantes desde una perspectiva correctiva, en contraste con enfoques de orden más constructivistas que permitan identificar un conocimiento de las dificultades que los estudiantes puedan tener al interpretar el lenguaje de la física asociado al campo eléctrico, dado que es diferente al lenguaje cotidiano (Etkina, 2010). Una derivación sobre esta situación es *un eje cuestionamiento* cuando Daniel declara que las ideas de los estudiantes son importantes, pero también advierte sobre la necesidad de moldearlas. Al respecto Martín y Solbes (2001) también señalan como necesario que el profesor tenga un conocimiento sobre las ideas de los estudiantes en el sentido de *diferenciar fuerza, campo y energía*, como formas alternativas de explicar la interacción eléctrica. Sin embargo en el caso de Daniel, el moldear las ideas de los estudiantes está centrado más aquí en que diferencien los dos conceptos en términos causales (el campo produce la fuerza), así se cuestionaría la necesidad de considerar la perspectiva epistemológica que está en la base de la explicación de la interacción eléctrica al querer "moldear" las ideas de los estudiantes.

| Ideas de los estudiantes | |
|---|---|
| **Obstáculo** | En la noción de ideas prerrequisito y en especial para corregir los conceptos de los estudiantes. |
| **Cuestionamiento** | Las ideas de los estudiantes son importantes, pero también advierte sobre la necesidad de moldearlas. |
| **Dinamizador** | El reconocimiento de las ideas de los estudiantes puede llegar a constituir un enfoque alternativo de sus valoraciones en cuanto a ayudar a hacerlas complejas. |

Adicionalmente, en este componente se identifica un *eje dinamizador,* que se puede establecer al considerar que el reconocimiento de las ideas de los estudiantes puede llegar a constituir un enfoque alternativo de sus valoraciones en términos de ayudar a hacerlas complejas, en el sentido de cuestionar aspectos como la *simple causalidad* (Raduta, 2005) como forma de razonamiento del fenómeno del campo eléctrico. Este incipiente eje dinamizador requeriría, entre otros aspectos, analizar cómo la manera de entender la interacción eléctrica implica cuestionar la necesidad del medio (Furió y Guisasola, 1998).

En lo que respecta al componente Actividades, también se pueden establecer *ejes obstáculo* relacionados con el rol central que adquiere Daniel en la enseñanza, por un lado como poseedor del conocimiento y por otro lado como comunicador o informador de este, de suerte que su explicación será actividad fundamental que enfatiza la idea de "dar los temas", es decir, focalizada en los contenidos conceptuales. También se encuentran tensiones en el eje cuestionamiento relacionadas con la concepción de laboratorio o experimentación en la clase, puesto que esta se toma como una aplicación de los temas y no necesariamente como una posibilidad de llevar a cabo procesos creativos. Adicionalmente, existe la tensión entre el rol de los ejercicios de lápiz y papel, que Daniel quiere desarrollar en términos de la "lucha con los números", ubicándola en un terrenos de aplicación de consejos o "tips", en lugar de rescatar el valor de la construcción de preguntas por parte de los estudiantes. Sin embargo se puede anotar que Daniel pretende involucrar analogías como una actividad de enseñanza, lo cual también relaciona con la generación de ideas alternativas de sus estudiantes, esto se constituye en un eje dinamizador. Al respecto James y Scharmann (2007) han venido cuestionando cómo el desarrollo de analogías en los profesores de ciencias resulta un componente importante del conocimiento pedagógico del profesor y llaman la atención sobre la necesidad de considerar su perfeccionamiento para el caso de profesores en formación inicial. Para el presente estudio la analogía tiene una faceta dinamizadora en el sentido de posibilitar la diferenciación entre los fenómenos microscópicos de los macroscópicos, en especial porque el profesor practicante establece el análogo entre el campo gravitacional (macro-) y el campo eléctrico (micro-).

| **Actividades** | |
|---|---|
| **Obstáculo** | *El rol central que adquiere Daniel como poseedor del conocimiento, comunicador* ("narrador ausente"). |
| **Cuestionamiento** | La concepción de laboratorio o experimentación en la clase: aplicación de los temas en lugar de favorecer la creatividad.<br>El rol de los ejercicios de lápiz y papel: la "lucha con los números" mediante "tips", frente a rescatar el valor de la construcción de preguntas por parte de los estudiantes. |
| **Dinamizador** | Pretender involucrar analogías como una actividad de enseñanza (diferenciar lo micro- y lo macro-). |

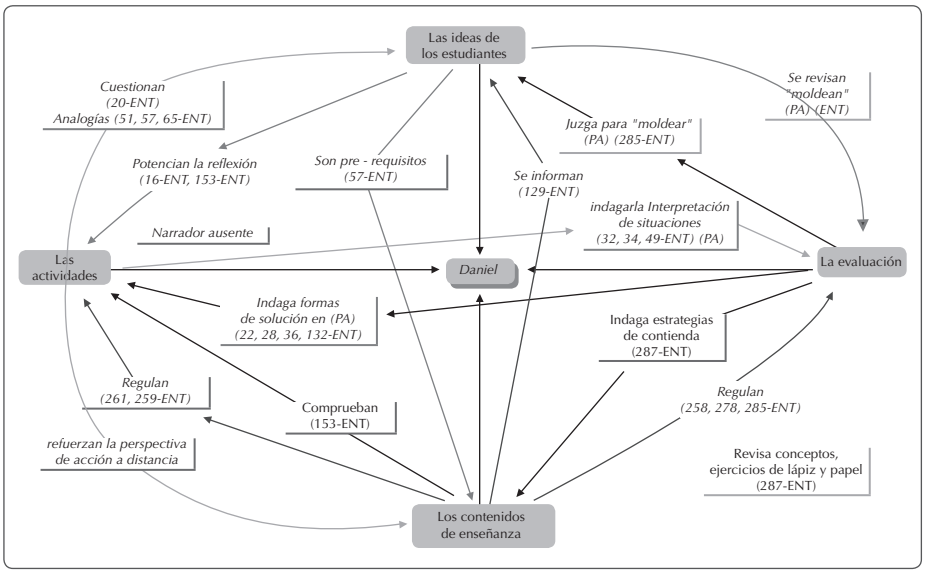
Por último, en lo que tiene que ver con el componente evaluación se concluye, para este primer subproblema, que Daniel centra su evaluación en los contenidos conceptuales, lo cual se constituye en *eje obstáculo* por cuanto no basta con mencionar que se pretende evaluar otros contenidos si en últimas lo que se quiere es que los estudiantes aprendan "tips" para resolver ejercicios numéricos. Consecuentemente se identifica aquí un *eje cuestionamiento* sobre el papel de la evaluación en la enseñanza del campo eléctrico como concepto o como una manera de explicar fenómenos. En especial porque la evaluación sumativa generalmente se dedica a verificar el aprendizaje de conceptos, fórmulas y definiciones de los términos asociados al campo eléctrico, y la evaluación formativa implicaría el desarrollo de capacidades para identificar situaciones de interacción eléctrica, formular explicaciones de este tipo de fenómenos y autoevaluarse sobre sus propias comprensiones y acciones (Black y William, 1998).

A este componente también se le puede asociar un *eje dinamizador* en lo que corresponde al interés de Daniel por indagar procesos de interpretación de situaciones y las formas como los estudiantes las solucionan, desarrollo en el que necesariamente Daniel cumple con las demandas del colegio (hacer pruebas escritas), es decir, en este caso se plantean dos formas de ver la evaluación: *evaluar para el aprendizaje* y *evaluar el aprendizaje* (Cowei, 2012). La primera, de corte formativo, promueve el aprendizaje en los estudiantes; la segunda es de corte sumativo y Daniel se identifica mucho más con esta tanto en el documento de planeación como en la organización de los momentos de evaluación (terminales).

| **Evaluación** | |
|---|---|
| **Eje obstáculo** | Daniel centra su evaluación en los contenidos conceptuales y en "tips" para resolver ejercicios numéricos. |
| **Eje cuestionamiento** | El papel de la evaluación en la enseñanza del campo eléctrico como concepto o como una manera de explicar fenómenos (evaluación sumativa frente a evaluación formativa). |
| **Eje dinamizador** | El interés de Daniel por indagar la interpretación de situaciones y las formas como los estudiantes las solucionan. |

En este proceso de interpretación y organización del CDC de Daniel, en lo que respecta a los componentes del CDC se encuentra como aspecto novedoso una manera de caracterización de la imbricación entre los contenidos, las actividades, la evaluación y las ideas de los estudiantes. En este sentido los hallazgos discuten la necesidad de plantear indagaciones que fortalezcan la naturaleza del CDC en los componentes, pero en la medida de sus conexiones.

**Figura 64.** Componentes del CDC, fase declarativa desde la perspectiva de ejes DOC (rojo: obstáculo; amarillo: cuestionamiento; verde: dinamizador)




Otra conclusión al respecto de la fase previa a las clases, denominada en este informe *fase declarativa* (ver figura 5.1); consiste en destacar que cada componente no se encuentra aislado de los demás, en lugar de ello se evidenciaron las siguientes conexiones:

| | |
|---|---|
| Las actividades | Cuestionan las ideas de los estudiantes y potencian su reflexión.<br>Refuerzan la perspectiva de acción a distancia y comprueban los contenidos conceptuales.<br>Permiten indagar (evaluar) formas de interpretación. |
| Los contenidos | Regulan la evaluación.<br>Se informan (transmiten) a los estudiantes.<br>Regulan las actividades. |
| La evaluación | Indaga estrategias de contienda con los "números" (contenidos conceptuales).<br>Revisa los contenidos conceptuales.<br>Juzga las ideas de los estudiantes.<br>Indaga formas de solución en actividades. |
| Las ideas de los estudiantes | Se revisan en la evaluación.<br>Se organizan como prerrequisitos de acuerdo con los contenidos conceptuales. |

## Relaciones entre componentes del CDC desde la fase de acción

El segundo subproblema planteado indaga las posibles relaciones entre las características del CDC al desarrollar las propuestas de enseñanza del campo eléctrico a los estudiantes. Aquí se determinan *ejes obstáculo* en los cuatro componentes, así los contenidos conceptuales son enseñados por Daniel como productos elaborados por otros, en los que la principal actividad de la clase es su explicación a manera de relato. Este centro en el profesor como protagonista y poseedor del conocimiento del contenido, quien lo expone y lo entrega a los estudiantes (Simmons *et al.,* 1999) resulta ser una característica de la visión aditiva de los contenidos (García y Cubero, 2000). Es decir, la clase magistral desarrollada desde la perspectiva acumulativa y lineal de los contenidos (Porlán *et al.,* 2000), también demanda que *las ideas de los estudiantes* solo se consideren después de que Daniel expone las definiciones, para adaptarlas al molde que él considera más adecuado, el cual tiene un sesgo fuerte en las leyes de Newton, el campo eléctrico como el espacio entre las cargas, y la representación de la fuerza del campo vía líneas de fuerza, y tal como lo ha cuestionado Poon (1986) no se discute (dado que se informa estilo definición) el significado físico del campo eléctrico; como consecuencia el lenguaje parafrasea la ley de gravitación universal de Newton o la ley de Coulomb. Esta situación es reiterativa en el marco del *desarrollo de ejercicios de lápiz y papel* cuando Daniel se enfoca en que sus estudiantes identifiquen las variables inherentes a la ley de Coulomb (cargas, distancias) y "apliquen" el principio de superposición para determinar fuerza eléctrica, similar a como se hace en ejercicios de lápiz y papel asociados a las leyes de Newton, características similares que también se involucran en *la evaluación* del tema y en el laboratorio del GVDG.

| | **Ejes obstáculo** |
|---|---|
| **Contenidos** | Énfasis en lo conceptual, enseñados por Daniel como productos elaborados por otros. |
| **Actividades** | Discurso enciclopédico, ejercicios de lápiz y papel. |
| **Ideas de los estudiantes** | Se deben moldear a los contenidos conceptuales. |
| **Evaluación** | Los "tips" para la contienda de los números, ejercicios de lápiz y papel. |

En cuanto a los *ejes cuestionamiento* se determinan relaciones respecto a los contenidos, las actividades y la evaluación. Así se evidencia una tensión entre el discurso propio de Daniel y el de los otros a la hora de su relato. La clase con sus interacciones permite que se contrasten perspectivas del campo eléctrico, que terminan conviviendo en las explicaciones de Daniel, especialmente aquellas asociadas a definir el campo eléctrico como *el espacio en sí mismo*, *como las líneas de fuerza* o *como el espacio entre cargas eléctricas*. Esta polifonía de referentes sobre el campo

eléctrico manifiesta la ausencia de una perspectiva que discuta en concreto el papel del medio en la interacción eléctrica (Furió y Guisasola, 1998), y por tanto refuerza la tensión entre explicaciones de acción a distancia o explicaciones de acciones contiguas (Martín y Solbes, 2001).

Adicionalmente a este proceso se presenta también una tensión entre actividades creativas de los estudiantes y el seguimiento de los códigos de representación informados por Daniel, pues los estudiantes tendrían posibilidades de generar situaciones alternativas de explicación de la interacción eléctrica, en la medida en que se ajusten al desarrollo del tema y de las estrategias de solución de los ejercicios de lápiz y papel (en este contexto fue que surgió la pregunta por las cinco cargas en la clase). En este sentido conviene cuestionar dónde queda el papel del campo eléctrico, por ello cuantos más ejercicios se hacen más se va perdiendo una posible ontología, más se sustituye por la ley de Coulomb y las líneas de fuerza como representante de acción a distancia, y menos aparece como *agente de la interacción, dotado de realidad física, de energía y de momento, con existencia propia independiente de la fuerza* (Martín y Solbes, 2001). La situación se relaciona con lo que finalmente este solicita en *la previa* para evaluar campo eléctrico, cuando pide definir y solucionar ejercicios de lápiz y papel, evidenciando así una perspectiva sumativa de la evaluación (Atorresi, 2010).

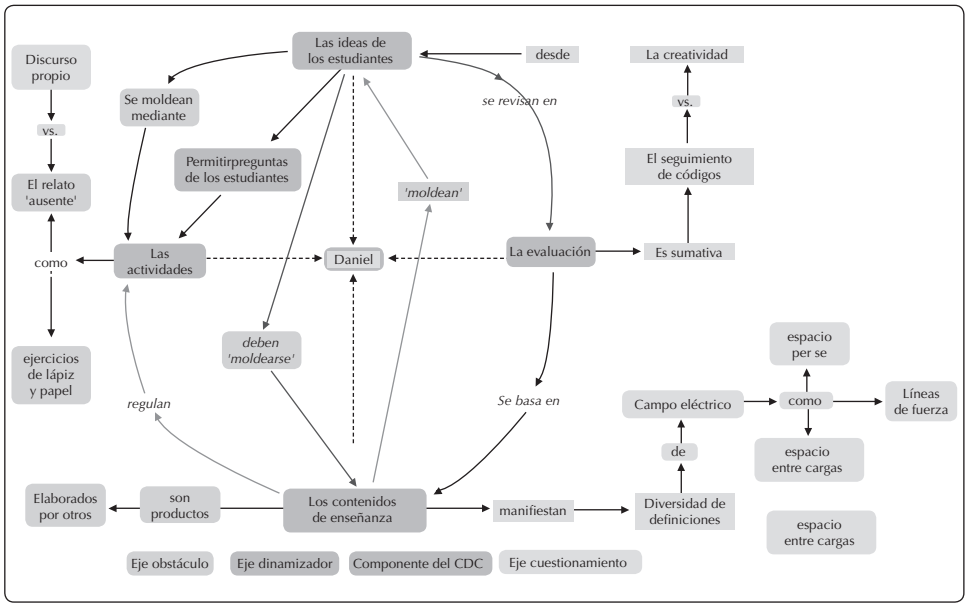
| **Ejes cuestionamiento** | |
|---|---|
| **Contenidos** | Diversidad en las definiciones del campo eléctrico (espacio per se, líneas de fuerza, espacio entre cargas), no hay construcción conceptual ni intercambio de saberes. |
| **Actividades** | Discurso enciclopédico frente al discurso propio.<br>Centro en ejercicios de lápiz y papel frente al intercambio de saberes.<br>El campo eléctrico como realidad física frente a líneas de fuerza como representante del campo en cuanto a acción a distancia (ley de Coulomb). |
| **Evaluación** | Actividades creativas de los estudiantes frente a seguimiento de códigos para solucionar ejercicios de lápiz y papel (sumativa). |

Por último, respecto a las relaciones asociadas al *eje dinamizador* solamente se determina un eje en el componente Actividades, el cual plantea una luz frente a lo directivo y magistral de la clase en referencia a permitir preguntas de los estudiantes y su respectiva puesta en común.

| **Eje dinamizador** | |
|---|---|
| **Actividades** | Se plantea una alternativa frente a lo directivo y magistral de la clase en referencia a permitir preguntas de los estudiantes y su respectiva puesta en común. |

Como puede apreciarse, se determinan un conjunto de relaciones entre los componentes del CDC de Daniel, que permiten no solo establecer una caracterización de este, sino plantear interrogantes sobre las formas específicas como esta caracterización se dinamiza. Así, si bien se reconoce que Magnusson, Krajcik y Borko (1999) proponen una estructura del conocimiento profesional del docente, a propósito del CDC, en la cual organizan las relaciones entre componentes generales en cuanto a la "influencia" de estos en las concepciones y conocimiento del PCK, en este informe se concretan para el caso particular del profesor de Física en formación inicial, algunas características de estas "influencias" (ver figura 65) .

**Figura 65.** Relaciones entre componentes del CDC, fase de acción




En particular, para la enseñanza del campo eléctrico se ratifica una didáctica específica en la que el profesor de Física en formación inicial desarrolla su planeación, la enseñanza interactiva así como procesos de reflexión sobre su práctica. Estas relaciones concretas son:

a. Las actividades generan tensiones entre el discurso propio del profesor y el relato enciclopédico, y tienen un ámbito principal de desarrollo alrededor de los ejercicios de lápiz y papel abordados en la metáfora de la contienda. Adicionalmente, las actividades tienen alternativas —de intención— de cuestionar la clase magistral por medio de la participación de las ideas de los estudiantes.

b. Los contenidos de enseñanza regulan las actividades y moldean las ideas de los estudiantes. Sin embargo los contenidos conceptuales manifiestan diversidad de definiciones en el discurso del profesor.

c. La evaluación se fundamenta en los contenidos de enseñanza (fuerza, ley de Coulomb, definición de campo, líneas de fuerza).

d. La intención formativa de la evaluación se relativiza cuando se solicita el seguimiento de códigos en las actividades de clase y en el examen escrito.

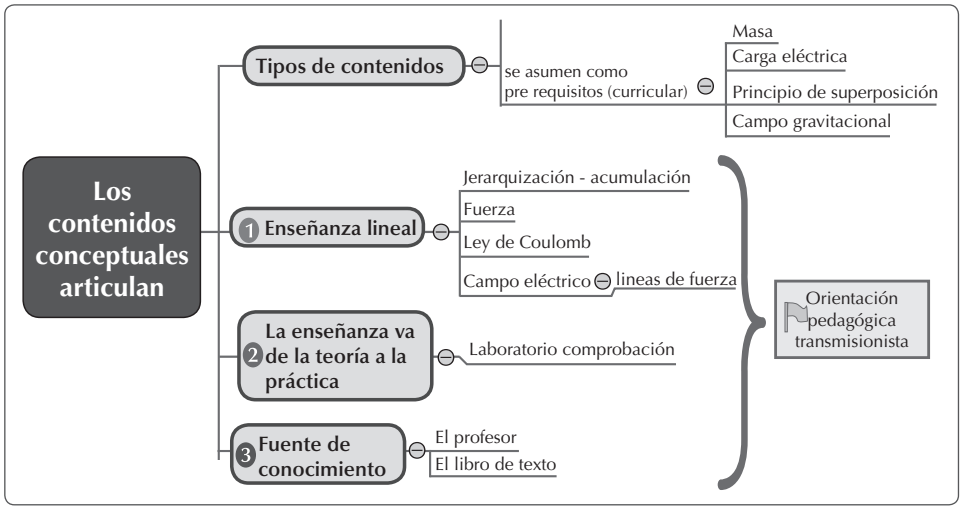
## Integración de componentes del CDC

A continuación se presentan las conclusiones en referencia al tercer subproblema, que busca una interpretación del CDC del profesor de Física en cuanto a las relaciones entre sus componentes desde una perspectiva integradora.

### Los contenidos conceptuales articulan

En cuanto a los *contenidos* como conocimiento didáctico se concluye que estos se centran en los conceptos y en algunos procedimientos asociados al laboratorio. Tanto en la fase declarativa como en la de acción y la estimulación del recuerdo, Daniel reitera la importancia que le asigna a los temas previos (fuerza, masa, campo gravitacional, carga, superposición), con lo cual demuestra consistencia en su perspectiva pedagógica de corte transmisionista, en la que el concepto de fuerza se constituye en una demanda curricular.

**Figura 66.** Los contenidos conceptuales articulan otros componentes del CDC



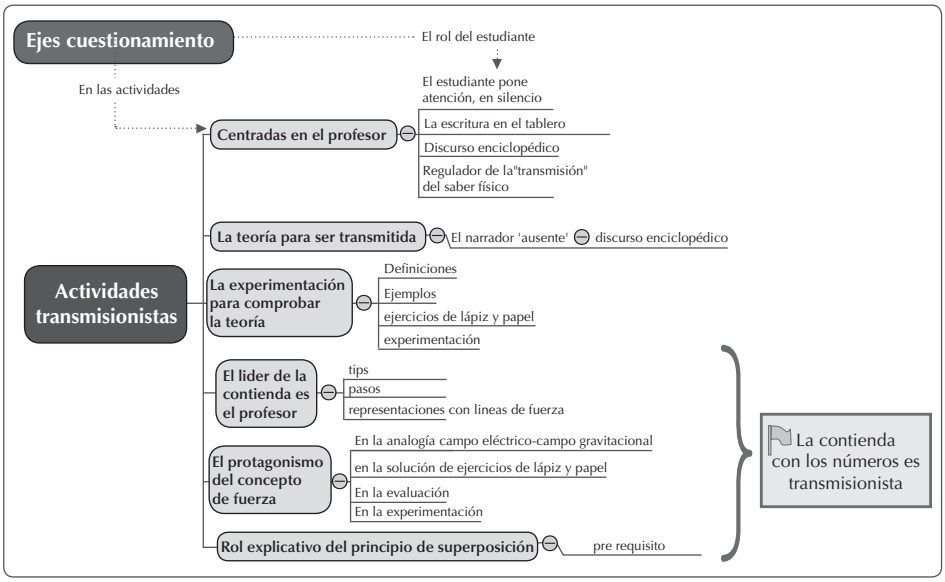
Los contenidos conceptuales se planean y desarrollan acudiendo a una perspectiva acumulativa-lineal, aspecto que configuró no solamente la jerarquización de los conceptos asociados al campo eléctrico, sino también la ruta de aprendizaje que va de la teoría a la práctica. Un eje obstáculo integrador que se puede formular aquí es precisamente el carácter transversal que tiene la perspectiva de enseñanza lineal, centrada en los contenidos conceptuales. En este caso la exploración de Daniel de las concepciones de los estudiantes no tuvo en cuenta las experiencias o vivencias en materia de la interacción eléctrica como tal. En lugar de esto privilegió la evocación del campo gravitacional mediante la relación de correspondencia entre la ley de gravitación universal y la ley de Coulomb. En este sentido, se puede afirmar que este apego a los conceptos prerrequisito (Zembal-Saul *et al.,* 2000) se constituye en obstáculo para explorar las concepciones sobre la interacción eléctrica en los estudiantes.

## Las actividades revelan visiones transmisionistas

Respecto a las *actividades* de enseñanza, tanto en la planeación como en la clase, el laboratorio y la reflexión, al estimular el recuerdo del profesor practicante este también manifiesta consistencia con una perspectiva pedagógica de corte transmisionista. En efecto, tanto las metáforas elaboradas como las interpretaciones de los instrumentos permiten concluir que las actividades de enseñanza están centradas en el profesor y no en el estudiante. Los argumentos destacan el papel primigenio que se le da a la teoría como conocimiento para transmitir, y a la experimentación como conocimiento para aplicar. Los ejercicios de lápiz y papel los asigna el profesor practicante, quien también se considera líder de la contienda con los números y del inherente proceso de instrucciones que le pertenece, en el cual tanto el concepto de fuerza como vector, el principio de superposición y la analogía con el campo gravitacional resultan algunas de las armas que permitirían ganar las batallas. Al respecto, si bien Etkina (2010) resalta la importancia del pensamiento cuantitativo y del uso de la analogía con el campo gravitacional para la enseñanza del campo eléctrico, para el caso de estudio que aquí se reporta esta analogía destaca solamente la comparación entre las ecuaciones asociadas y las características de proporcionalidad entre sus variables, y al situarse en este plano deja a un lado las posibilidades didácticas que la propuesta de Martín y Solbes (2001) ubica en el nivel elemental de actividades para la enseñanza del campo eléctrico.

En este orden cabe mencionar el estilo de explicación del profesor practicante, que se caracteriza por expresar verbalmente el contenido, sintetizar simbólicamente una representación en el tablero y señalarlo constantemente para acudir a la atención de los estudiantes. Con esto se evidencia también que en la enseñanza de los contenidos en el aula el centro es el docente, proceso en el cual los estudiantes deben prestar atención y, preferiblemente, permanecer en silencio, pasivos frente al relato de su profesor. Al respecto conviene señalar que el estilo impersonal del profesor al relatar los conocimientos físicos evidencia su falta de empoderamiento sobre estos.

**Figura 67.** Actividades transmisionistas

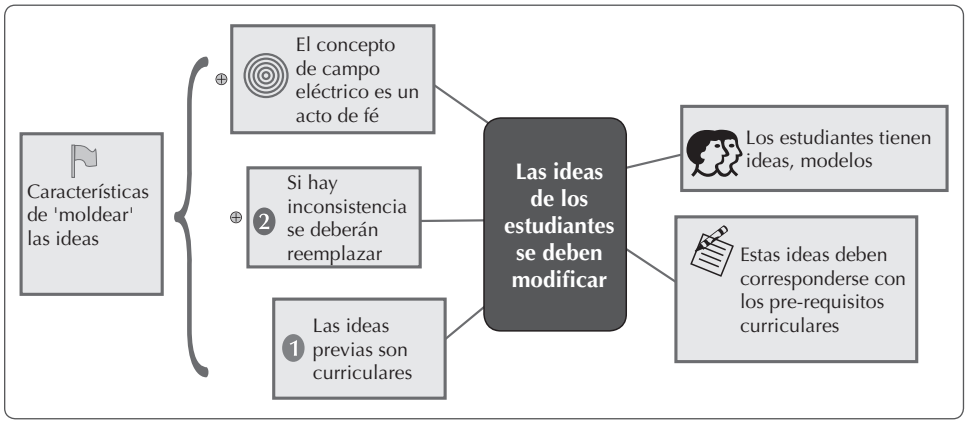



Esa situación cuestiona las nociones del conocimiento del docente como algo diferenciado, en especial porque también contribuyen a mostrarlo como un simple policía de la física encargado de regular la transmisión de los conocimientos construidos por los verdaderos científicos. De aquí se colige la formulación de ejes cuestionamiento que revelan las tensiones entre el rol protagónico del profesor y el papel de los estudiantes, en el que estos últimos siguen las instrucciones de aquel. Asimismo, se reiteran en las actividades los ejes obstáculo asociados a la perspectiva lineal de la enseñanza que primero informa la teoría y luego procede a aplicarla.

## Las ideas de los estudiantes se deben modificar

En cuanto a las *ideas de los estudiantes* se concluye que el profesor practicante reconoce la existencia de modelos o ideas en sus estudiantes, por lo menos en el nivel declarativo, lo cual se contrasta con la sesión de clase, en donde se evidenció también esta consideración, pero con un matiz asociado a los conceptos prerrequisito que, a juicio del profesor practicante, deberían estar clara y ampliamente comprendidos. Así, el profesor practicante considera que las ideas de los estudiantes pueden ser moldeadas, para este caso el modelo de explicación de las interacciones eléctricas de los estudiantes deberá acomodarse —por medio de la revisión constante de sus prerrequisitos— al modelo que él explica en su clase. Sin embargo, este modelo del campo eléctrico hace énfasis en la interacción a distancia y no establece interrogantes sobre acciones contiguas.

**Figura 68.** Moldear las ideas de los estudiantes



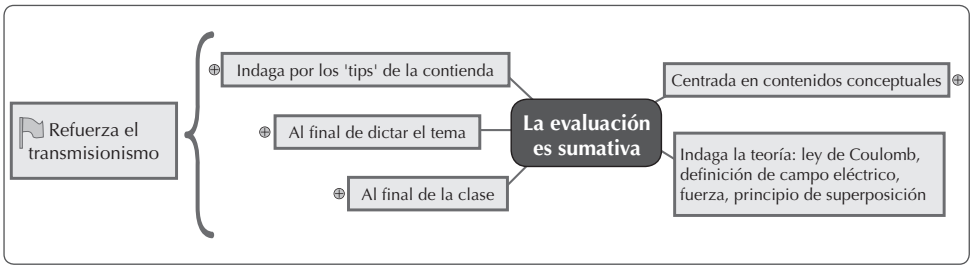

Dado que para el caso del concepto de campo eléctrico el profesor practicante decide informarles a los estudiantes que el campo eléctrico es el espacio entre cargas eléctricas, en analogía con el campo gravitacional que es el espacio entre masas, la capacidad para moldear las ideas de los estudiantes se despliega en las interacciones discursivas que se den en la clase, sin embargo la conclusión en este punto resulta problematizadora dado que el profesor practicante asume un rol de relator del proceso de la construcción del concepto de campo eléctrico elaborado por otros, ante lo cual los estudiantes no tienen otro camino más que creer y reemplazar lo que sea que tengan en su mente por lo que el profesor les ha informado. Esta situación pone en duda la verdadera posibilidad de moldear sus ideas.

Con esto se formula aquí un eje cuestionamiento integrador, que presenta la tensión entre moldear las ideas de los estudiantes o sustituirlas por las que informa el profesor. En este aspecto Melo, Cañada, Mellado y Buitrago (2014) han encontrado que los profesores de Física en ejercicio, en la enseñanza del campo eléctrico manifiestan preocupación porque los estudiantes no comprenden este concepto, pero a la hora de desarrollar la enseñanza interactiva se centran en favorecer representaciones del campo eléctrico en las que la fuerza y el campo resultan "mecanismos heurísticos interconectados mientras resuelven ejercicios de lápiz y papel". Estos autores encuentran que para los profesores de física es el concepto de potencial el que organiza todo el fenómeno eléctrico, sin embargo en este trabajo de tesis se ha determinado para el caso de estudio, que es el concepto de fuerza el que termina constituyéndose como concepto organizador y que debería ser moldeado por el profesor estudio de caso. Es allí donde radicaría la alternativa para modificar las ideas de los estudiantes.

## La evaluación sumativa

Respecto a la *evaluación* se concluye que el profesor practicante manifiesta en el nivel declarativo intenciones de flexibilizar la lucha con los números, así como en el tratamiento de las fórmulas de campo eléctrico y ley de Coulomb con las ecuaciones asociadas, aspecto que evidenció la relativización de la flexibilización y que pone de manifiesto la necesidad de regular los aprendizajes teniendo como referente la comprensión de las ecuaciones y su respectiva aplicación. La situación también se evidencia en la sesión de clase, cuando el profesor informa la definición de campo eléctrico, dibuja las líneas de fuerza para cada carga eléctrica y cree que con estas nociones sus estudiantes deben proceder a solucionar las preguntas de aplicación. De esto la sesión de estimulación del recuerdo permite concluir la importancia que el profesor le da a la matemática en la enseñanza de la física, particularmente aquí respecto a la aplicación de la ley de Coulomb y la ecuación de la intensidad del campo eléctrico.

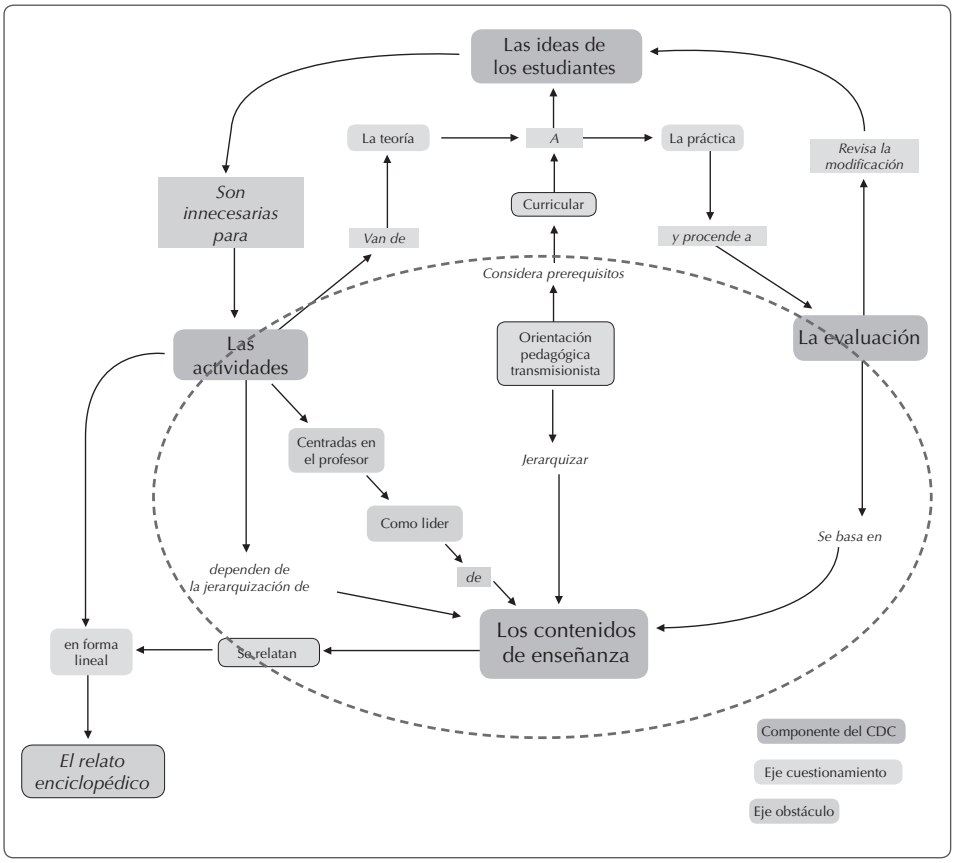
**Figura 69.** La evaluación es sumativa




En este sentido surge un eje cuestionamiento que pone la mirada en la evaluación sumativa y revela la tensión entre lo que se enseña y lo que se evalúa: se enseñan definiciones y ecuaciones y se evalúa la comprensión de las relaciones entre las cantidades físicas implicadas en las ecuaciones.

A manera de conclusión general de la integración de los cuatro componentes del CDC se puede afirmar que se evidencia una articulación entre contenidos, actividades y evaluación en torno al carácter central que tienen los contenidos conceptuales (fuerza, ley de Coulomb y líneas de fuerza), matiz que organiza la evaluación y las actividades en dependencia de los contenidos conceptuales. Esto muestra una orientación pedagógica de corte transmisionista.

**Figura 70.** Integración de componentes del CDC




En este orden, las ideas de los estudiantes solo se articulan en la medida en que se vinculan con los contenidos conceptuales centrales de la enseñanza, sin embargo aquí se destaca el papel de las analogías que utiliza el profesor al valorar la relación entre lo macro- y lo micro-, pero que en otras ocasiones terminan siendo requisito fundamental para la comprensión de las instrucciones o tareas, como lo es el caso de las placas paralelas. Ahora bien, dado que la integración se construye centrada en los contenidos, el estilo del relato impersonal del profesor, las definiciones de los conceptos de campo eléctrico y de líneas de fuerza evidencian la perspectiva lineal y acumulativa de su tratamiento, aspecto que posiciona una mirada de la enseñanza que va de los contenidos al conocimiento escolar (Martínez, 2000)

## Algunas consecuencias para propuestas curriculares de formación inicial de profesores de Física

En primer lugar es necesrio destacar que la hipótesis de progresión elaborada se constituye en un referente del CDC del profesor de Física en formación inicial, pero este proceso de construcción no termina, por el contrario siempre estará abierto a redefinir y enriquecer la HPD en coherencia con los contextos e intereses del profesorado y de los investigadores en didáctica de la física. En este sentido, la HDP permite entre otras cosas, orientar posibles análisis de referencia sobre el estado del CDC del profesor de Física en formación, o proponer rutas de transición (García, 1999) en investigaciones sobre desarrollo del CDC en el practicum.

En segundo lugar el caso permite afirmar que los datos señalan la existencia de un CDC en el profesor de Física en formación, caracterizado por un nivel acrítico principalmente, y en casos muy esporádicos, por un nivel reflexivo lógico, características que Jang, Tsai y Chen (2013) han reconocido fundamentalmente en los profesores novatos, en contraste con profesores experimentados, asociadas a explicaciones y "quizzes".

Esta situación permite formular preguntas sobre los fundamentos pedagógicos, físicos y didácticos de los profesores de Física en sus cursos de formación inicial, en particular si los programas de estos cursos reconocen la existencia de la investigación en el CDC como fuente de organización del trabajo en su desarrollo. Asimismo conviene preguntarse por la pertinencia de estructurar la formación investigativa de los profesores en sus cursos de licenciatura o de formación docente alrededor del CDC como eje estructurante, en particular cuando estos cursos contemplan las prácticas docentes en instituciones educativas, y cómo desvelar el estado del CDC en casos particulares de enseñanza de los profesores practicantes. Y en tal sentido, ¿cómo estructurar el acompañamiento del docente titular de la universidad y el docente titular de la institución en torno al desarrollo del CDC del profesor practicante?

Para el caso específico del CDC en la enseñanza del campo eléctrico surgen también algunos interrogantes sobre el énfasis que se le da a los contenidos conceptuales por encima de los actitudinales y procedimentales, ¿es esto una consecuencia del tipo de formación que se recibe en la universidad? O más bien ¿falta de reflexión y acción sobre esto en los cursos de didáctica de la física? Pero si solo se tratara del análisis de este carácter central, en lo conceptual surgen también preguntas acerca de la perspectiva epistemológica que está en la base de la explicación del profesor practicante sobre el concepto de campo eléctrico, dado que los datos muestran una concepción más del orden animista sustancialista en la cual el campo eléctrico se considera como el espacio que rodea las cargas eléctricas, pero no se distinguen sus propiedades. Adicionalmente, el campo eléctrico se ve como una representación que recoge las líneas de fuerza como forma de mostrar tales propiedades del espacio asociadas al concepto de fuerza, sin embargo no se hacen distinciones concretas

entre este concepto y el de intensidad del campo eléctrico en un punto del espacio. Estos aspectos han de ser materia de investigación en los programas de formación de profesores en la línea de desarrollo del CDC del profesor practicante en la enseñanza del campo eléctrico, dado que constituyen referentes de indagación sobre el conocimiento sintáctico y sustantivo de la física que cada programa de formación inicial coadyuva a desarrollar en sus estudiantes.

En este misma línea de la enseñanza del campo eléctrico también surgen preguntas sobre el papel de las ideas de los estudiantes. Los datos muestran que aunque el profesor declara previamente que las ideas de sus estudiantes son importantes, esto lo hace en atención a lo que según él "dice la didáctica", pero no necesariamente en relación con sus intereses de enseñanza y sus acciones concretas al abordar el tema, aspecto que coincide con la línea de investigación de mayor tradición en la enseñanza de las ciencias. Como pudo determinarse, las ideas de los estudiantes sobre campo eléctrico no fueron exploradas, no se les preguntó acerca de lo que era el campo, el campo gravitacional o el mismo campo eléctrico, puesto que se procedió directamente a relatar su definición, escribir la ecuación de campo eléctrico, e informar también a manera de relato impersonal, la idea de líneas de fuerza como representación del campo eléctrico para el caso de cargas puntuales y placas paralelas. Ante esto algunos cuestionamientos son: ¿Por qué seguir considerando que el profesor debe informar los conceptos y el estudiantes debe oírlos con atención y escribirlos en el cuaderno como forma de aprendizaje? ¿Cómo desarrollar el CDC del profesor de Física de manera que las ideas de sus estudiantes sean las fuentes del desarrollo de sus clases? ¿Qué influencia ejerce la historia de vida académica personal del practicante en el desarrollo de sus clases (en especial cuando al reflexionar sobre sus acciones en estas resultan muchos actos evocatorios sobre sus procesos de aprendizaje en la universidad)? ¿Cómo generar alternativas de formación didáctica que consideren las ideas de los profesores en formación, de suerte que estos validen esta manera de aprender y la puedan replicar en el practicum? En este sentido conviene preguntar sobre el rol que tienen las representaciones que hacen los profesores del contenido conceptual de la física y cómo estas pueden ser desarrolladas mediante la práctica docente (Janik, Najvar, Slavik y Trna, 2009), así como si se pueden validar alternativas de desarrollo del CDC de los profesores de Física en formación inicial mediante tecnologías contemporáneas como lo proponen Alev, Karal-Eyuboglub y Yigit (2012) para el caso del diseño de actividades por medio de la web 2.0.

Ahora bien, dado que los datos muestran que las actividades en la clase tuvieron como centro las acciones del profesor, conviene preguntarse, ¿cuál es la influencia de la formación pedagógica general en el desarrollo de propuestas de enseñanza en el profesor de Física? ¿Cómo fortalecer una formación didáctica de la electricidad que valide como importante y formativo la reflexión sobre la acción y

no la aplicación de la teoría incomprendida? El caso de estudio revela que el profesor practicante aún considera que la actividad más importante que deben llevar a cabo los estudiantes consiste en poner atención, oír, para luego sí poder entender y formular preguntas que demuestren tal aprendizaje. Asimismo, que las actividades experimentales no se podrán comprender si primero no se domina la teoría. Y entonces: ¿cómo desarrollar el CDC sobre campo eléctrico de los profesores de Física en formación inicial? En este sentido conviene indagar si es posible operarlo (Riese, Vogelsang y Reinhold, 2013) como un proceso de desarrollo que va de lo declarativo (el conocimiento del "que" ) a la acción (el conocimiento del "como"). ¿Es posible construir el concepto de campo eléctrico como un fin de las actividades de la clase? ¿Es posible adelantar procesos experimentales que coadyuven a la construcción del concepto de campo eléctrico en lugar de seguir replicando las experiencias que requieren tener un fundamento teórico previo como condición indiscutible? Y en este sentido, ¿como hacer una evaluación que considere válido el proceso de construcción de conocimiento y que no ponga énfasis en la solución de ejercicios de lápiz y papel?

## Sobre futuras investigaciones en esta línea de indagación

Si bien con algunas de las preguntas que se han formulado se pueden articular problemas de investigación, conviene reflexionar sobre lo siguiente:

a. El estudio de la enseñanza de la electricidad desde una perspectiva pedagógica alternativa al transmisionismo. El problema central retoma la caracterización de la perspectiva pedagógica que los datos de esta tesis revelan como herramienta de reflexión, diseño y generación de alternativas de formación docente, tanto para los cursos de Didácticas Específicas, los de Pedagogía General y los de Electricidad y Magnetismo del plan de estudios.

b. La profundización en el estudio de un solo componente del CDC. Trabajo que involucraría el análisis de cada uno de los resultados y conclusiones de esta tesis de manera que permitan establecer pautas teóricas y metodológicas de investigación en el CDC del profesor de Física en formación inicial.

c. La extrapolación de los resultados sobre la caracterización del CDC para esta tesis, con otras investigaciones en programas de formación avanzada de profesores de Física.

d. El estudio sobre la analogía como un conocimiento profesional, más allá de la consideración como actividad de la clase, en el que se profundice la generación de analogías en el marco de la enseñanza del campo eléctrico, tanto para profesores en formación inicial o avanzada, como para estudiantes de bachillerato.

e. La confrontación de los resultados aquí expuestos, para el caso de profesores experimentados. ¿Cuál es el CDC sobre campo eléctrico que estos profesores han elaborado (analogías, contenidos, papel de las ideas de los alumnos, etc.)?

f. Las propuestas de formación de profesores de Física que tengan como eje la construcción del CDC. Este proceso podría incluir, entre otros aspectos, la necesaria discusión sobre las competencias docentes en la contemporaneidad.

g. La asociación del concepto de campo al concepto de fuerza en el profesor practicante, hace que este último concepto resulte central en la explicación de la interacción eléctrica y esto pone de manifiesto la necesidad de investigar el desarrollo de transiciones de orden epistemológico para contrastar con los hallazgos de Melo *et al*. (2014) sobre el CDC de profesores de Física en ejercicio.

# Referencias


Abell, S. (2008). Twenty Years Later: Does pedagogical content knowledge remain a useful idea? *International Journal of Science Education, 30*(10), 1405-1416.

Adúriz, B. e Izquierdo, M. (2002). La didáctica de las ciencias experimentales como disciplina tecnocientífica autónoma. En F. J. Perales *et al*. (Eds.). *Las didácticas de las áreas curriculares en el siglo XXI* (pp. 291-302). Granada: Grupo Editorial Universitario.

Alev, N., Karal-Eyüboglu, I. S. y Yigit, N. (2012). Examining pre-service physics teachers' pedagogical content knowledge (PCK) with Web 2.0 through designing teaching activities. *Procedia - Social and Behavioral Sciences, 46,* 5040-5044.

Alexander, P., Shallert. D. y Hare, V. (1991). Coming to Terms: How Researchers in Learning y Literacy Talk About Knowledge". *Review of Educational Research, 61*(3), 315-343.

Aliberas J., Gutiérrez, R. e Izquierdo, M. (1989). La didáctica de las ciencias: una empresa racional. *Enseñanza de las Ciencias, 7*(3), 277-284.

Altheide, D. y Jhonson, J. (2011). Reflections on interpretive Adequacy In qualitative Research. En Denzin, N. y Lincoln, Y. *Handbook of Qualitative Research* . SAGE, pp. 581-594.

Anchorena, S. (1994). La calidad de los contenidos escolares: Variables, dimensiones e indicadores. *Contenidos para la enseñanza de la física en el nivel medio: ¿Ciencia sin conciencia?* Recuperado de: *http://sala.clacso.org.ar/gsdl/cgi-bin/library?e=d-000-00---0tesis--00-0-0--0prompt-10---4------0-1l--1-es-Zz-1---20-about---00031-001-0-0utfZz-8-00&a=d&cl=CL1.1&d=HASH011e622fc27d7d1f6f2d1f34.5*.

Anderson, L. y Krathtwohl, D. (Eds.) (2001). A taxonomy for learning, teaching, and assessing: a revision of bloom's taxonomy of educational objectives. New York: Pearson.

Arnal, J., Del Rincón, D. y Latorre, A. (1992). *Investigación educativa: fundamentos y metodología*. Barcelona: Labor.

Arons, A. (1990). *A guide to introductory physics teaching.* New York: John Wiley.

Astolfi, J. P. (2001). *Conceptos claves en la didáctica de las disciplinas*. Sevilla: Diada Editores.

Atlas.ti (versión 6) [Licencia n.º Ref: 12735287] Berlín: Scientific Software Development GmbH.

Atkin, J., Black, P. y Coffey, J. (2001). *Classroom assessment and the national science education standards editors*. Recuperado de: http://www.nap.edu/catalog/9847.html.

Atorresi, A. (2010). *Construcción y evaluación de consignas de resolución escrita*. Buenos Aires: Flacso Argentina.

Bachelard, G. (1979). *La formación del espíritu científico.* México D. F.: Siglo XXI Editores.

Bachelard, G. (1998). *El compromiso racionalista*. México D. F.: Siglo XXI Editores.

Bagno, E. (1986). O*rganization and understanding of concepts in electromagnetism—design implementation and evaluation of an instructional unit for high school*. Reovot, Israel: UnpubLished.

Bar, V., Zinn, B. y Rubin, E. (1997). *Children's ideas about action at a distance*. Doi: 10.1080/0950069970191003.

Bardin, L. (1986). *Análisis de contenido*. Madrid: Akal.

Barnett, J. y Hodson, D. (2001). Pedagogical context knowledge: Toward a fuller understanding of what good science teachers know. *Science Teacher Educatio, 85*, 426-453.

Barquin, J. (1993). *Evolución del pensamiento pedagógico de los profesores* (tesis doctoral inédita). Málaga: Universidad de Málaga.

Bauman, R. (1983). Research, anyone? *The Physics Teacher,* (21), 77-113.

Becker, M. (1988). Didáctica: Una disciplina en busca de su identidad. En Escuela Nacional de Estudios Profesionales (Ed.), *Lecturas en torno al debate de la didáctica y la formación de profesores* (pp. 12-17). México D. F.: Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM].

Benejam, P. (1993). Los contenidos de la didáctica de las ciencias sociales en la formación del profesorado. En L. Montero y J. M. Vez (Eds.), *Las didácticas espe-*

*cíficas en la formación del profesorado* (pp. 341-347) Santiago de Compostela: Tórculo.

Berger, F. (1979). What are the implications of paradigms research for science Education Research? *Journal of Research in Science Teaching, 16*(6), 517-521.

Black, P. y William, D. (1998). Assessment and Classroom Learning. *Assessment in Education*, 7-74.

Bolívar, A. (1993). Conocimiento didáctico del contenido y formación del profesorado: el programa de L. Shulman. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, *16*, 113-124.

Bolívar, A. (2005). Conocimiento didáctico del contenido y didácticas específicas. Pedagogical content knowledge and subject matter didactics. Universidad de Granada, profesorado. *Revista de currículum y formación del profesorado*, *9*(2).

Boquera, M. (2005). *Las metáforas en textos de ingeniería civil: Estudio contrastivo español-inglés (tesis doctoral)*. Universidad de Valencia, Departamento de Teorías de los Lenguajes. Valencia, España.

Bowen, B. L. (1975). The need for paradigms in science education research. *Science Education, 59*(3), 423-430.

Bronckart, J. P. (1989). Du statut des didactiques des matiéres scolaires. *Langue Française*, *82*.

Cañal, P. (2000). El análisis didáctico de la dinámica del aula: tareas, actividades y estrategias de enseñanza. En Perales, F. y Cañal, P. (Coords.). *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. Alcoy: Marfil.

Cañal, E. y Porlán, R. (1988). Bases para un programa de investigación en torno a un modelo didáctico de tipo sistémico e investigativo. *Enseñanza de las Ciencias, 6*(1), 54-60.

Carlsen, W. (1999). Domains of teacher knowledge. En J. Gess-Newsome y N. Lederman. (Eds.), *Examining Pedagogical Content Knowledge* (pp.133-144). Londres: Board.

Chevallard Y. (1985). *La transposition didactique: du savoir savant au savoir enseigné*. Paris: La Pensée Sauvage.

Chevallard, Y. (1997). *La transposición didáctica. Del saber sabio al saber enseñado*. Buenos Aires: Aiqué.

Clandinin, J. y Connelly, F. (1988). Conocimiento práctico personal de los profesores: imagen y unidad narrativa. En Villar, L. M. (Ed.). *Conocimiento, creencias y teorías de los profesores* (pp. 39-61), Alcoy: Marfil.

Clark, M. C. y Peterson, P. L. (1990). Procesos de pensamiento de los docentes. En M. C. Wittrock (coord.), *La investigación en la enseñanza, III. Profesores y alumnos*. Barcelona: Paidós/MEC.

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.

Coffey, A. y Atkinson, P. (2003). *Encontrar el sentido a los datos cualitativos. Estrategias complementarias de investigación*. Medellín: Universidad de Antioquia.

Cohen, L. Manion, L. y Morrison, K. (2008). *Research Methods in education* (6a. ed.). Nueva York: Routledge.

Coll, C. y Solé, I. (1987). La importancia de los contenidos en la enseñanza. *Investigación en la escuela, 3*, 19-27.

Colombia, Ministerio de Educación Nacional (2004). Estándares Básicos de Competencias en Ciencia Naturales y Ciencias Sociales. Formar en ciencia ¡El desafío! Lo que necesitamos saber y saber hacer. Serie, Guías n.° 7. Bogotá: El Ministerio.

Colombia, Secretaría de Educación Distrital (2010). *Evaluación y didáctica de las ciencias naturales*. Bogotá: La Secretaría.

Connelly, F. M., Clandinin D. J. y He. M. F. (1997). Teachers' personal practical knowledge on professional knowledge landscape. *Teaching and Teacher Education*, *13*(7), 665-674.

Cowei B. (2012) *Focusing on the Classroom: Assessment for Learning*. Second International Handbook of Science Education, 679 Springer International Handbooks of Education 24, DOI 10.1007/978-1-4020-9041-7_45, © Springer Science Business Media B. V.

Cudmani, L. y Fontdevilla, P. (1989). Física básica: A organização de conteúdos no ensino-aprendizagem do electromagnetismo. *Caderno Caterinense de Ensino de Física*, *6*, 196-210.

De Longhi, A. (2000). El discurso del profesor y del alumno: Análisis didáctico en clases de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, *18*(2), 201-216.

Denyer, M., Furnémont, J., Poulain, R. y Vanloubbeeck, G. (2007). *Las competencias en la educación. Un balance*. México D. F.: Fondo de Cultura Económica.

Domínguez, M. E. y Moreira, M. A. (1988). Significados atribuídos aos conceitos de campo elétrico e potencial elétrico por estudantes de física general. *Revista de Ensino de Física*, *10*, 67-81.

Doyle, W. (1992). Curriculum and pedagogy. En Ph. W. Jackson (Ed.) *Handbook of Research on Curriculum: A Proyect of the A. E. R. A.* (pp. 486-516), Nueva York: Macmillan.

Driver, R. y Oldham, V. (1986). A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education, 13,* 105-122.

Elbaz, F. (1983). Teacher thinking: A study of practical knowledge. *Curriculum Inquiry, 14*(4), 465-468.

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. y Van Heuvelen, A. (2006). *Active learning guide*. San Francisco: Pearson Education.

Etkina, E. (2002). Formative and summative assessment in a physics class: Time to change. Recuperado de: http://bit.ly/1TTdviv.

Etkina, E. (2010). Physics pedagogical content knowledge and preparation of high school physics teachers. *Physics Education Research 6, 020110 (26)*.

Furió, C. y Guisasola, J. (1993). ¿Puede ayudar la historia de la ciencia a entender por qué los estudiantes no comprenden los conceptos de carga y potencial eléctricos? *Revista Española de Física, 7*(3), 46-50.

Furió, C. y Guisasola, J. (1997). Deficiencias epistemológicas de la enseñanza habitual de los conceptos de campo y potencial eléctrico. *Enseñanza de las Ciencias, 15* (2), 259-271.

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 electroestática. 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.

Furió-Más, C. y Furió-Gómez, C. (2009). ¿Cómo enseñar una secuencia de enseñanza con orientación constructivista? *Educación Química*, *20*(E), pp. 249-251 Disponible en http://www.educacionquimica.info/busqueda.php.

Gagliardi, R. (1986). Los conceptos estructurales en el aprendizaje porción investigación. *Enseñanza de las Ciencias, 4*(1), 30-35.

Galili, I. (1993). Weight and gravity: teacher 'ambiguity and students' confusion about the concepts. *International Journal of Science Education, 15*(2), 149-162.

Galili, I. (1995). 'Mechanics background influences students' conceptions in electromagnetism. *International Journal of Science Education,* 3, 371-387.

Gallego, M. (1991). Investigación sobre pensamientos del profesor: Aproximaciones al estudio de las "teorías y creencias de los profesores". *Revista Española de Pedagogía, 49*(189), 287-326.

García J. E. (1998). *Hacia una teoría alternativa sobre los contenidos escolares.* Sevilla: Díada Editora S. L.

García, C. (1998). De los obstáculos epistemológicos a los conceptos estructurantes: Una aproximación a la enseñanza-aprendizaje de la geología. *Enseñanza de las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas, 16*(2), 323-330.

García, F. (1999). *El medio urbano en la educación secundaria obligatoria. Las ideas de los alumnos y sus implicaciones curriculares* (tesis doctoral inédita). Sevilla: Universidad de Sevilla.

García, J. y Cubero, R. (2000). Constructivismo y formación inicial del profesorado. Las concepciones de los estudiantes de magisterio sobre la naturaleza y el cambio de las ideas del alumnado de primaria. *Investigación en la Escuela,* 42, 55-65.

García, J. E. (1998). *Hacia una teoría alternativa sobre los contenidos escolares.* Sevilla: Diada.

García, J. E. (1999). Una hipótesis de progresión sobre los modelos de desarrollo en educación ambiental. *Investigación en la Escuela,* 37.

Geli, A. (2000). La evaluación de los procesos y de los resultados de la enseñanza de las ciencias. En F. J. Perales y P. Cañal (Eds.). *Didáctica de las Ciencias Experimentales* (pp. 187-205). Alcoy: Marfil.

Gess-Newsome, J. y Lederman, N. (1999). Secondary teachers knowledge and beliefs about subject matter and their impact on instruction. En J. Gess-Newsome y N. Lederman (Eds.). *Examining pedagogical content knowledge. the construct and its implications for science education* (pp. 51-94). Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers.

Gil D., Carrascosa J. y Martínez, F. (1999). El surgimiento de la didáctica de las ciencias como campo específico de conocimiento. *Revista Educación y Pedagogía*, *11*(25).

Gil, D. (1994). Diez años de investigación en didáctica de las ciencias: Realizaciones y perspectivas. *Enseñanza de las Ciencias, 12*(2), 154-164.

Gil, D. (1996). New trends in science education. *International Journal of Science Education, 18*(8), 889-901.

Goetz, J. y LeCompte, M. (1984). *Etnografía y diseño cualitativo en investigación educativa*. Madrid: Morata.

González, E. (1994). *Las prácticas de laboratorio en la formación del profesorado de Física*. (Tesis doctoral). Valencia: Universidad de Valencia.

Greca, I. y Moreira, M. A. (1998). Modelos mentales y aprendizaje de física en electricidad y magnetismo. *Enseñanza de las Ciencias, 6*(2), 289-303.

Grossman, P. (1989). A study in contrast: sources in pedagogical content knowledge for secondary English. *Journal of Teacher Education,* 40, 24-31.

Grossman, P. (1990). *The making of a teacher. Teacher knowledge and teacher education.* New York: Teachers College.

Grossman, P. L. (1995). Teachers knowledge. En M. Dunkin (Ed.). *International Encyclopedia of Teaching and Teachers College Press*.

Gudmundsdottir, S. y Grankvist, R. (1992). Deutsche didaktik aus der sicht neuerer empirischer unterrichts- und curriculumforschung in den USA. *Bildung und Erziehung*, *45*(2), 175-187.

Gudmundsdottir, S. y Shulman, L. (1987). Pedagogical content knowledge in social studies. *Scandinavian Journal of Educational Research*, *31*(2), 59-70.

Gudmundsdottir, S. y Shulman, L. (1990). Pedagogical content knowledge in social studies. En J. Lowyck y C. M. Clark (Eds.), *Teacher Thinking and Professional Action (1986 ISATT Conference)* (pp. 23-34). Lewven University Press

Halim, L. y Subahan, M. (2002). Science trainee teachers' pedagogical content knowledge and its influence on physics teaching. *Research in Science and Technological Education, 20*(2), 15-25.

Hashweh, M. (2005). Teacher pedagogical constructions: a reconfiguration of pedagogical content knowledge. *Teachers and Teaching: theory and practice, 11*(3), 273–292.

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2006). *Metodología de la investigación*. México D. F.: McGraw-Hill.

Hewitt, P. (1999). *Física conceptual*. México D. F.: Pearson.

Hollon, R., Roth, K. y Anderson, C. (1991). Science teachers conceptions of teaching and learning. En J. Brophy (Ed.) *Advances in research on teaching* (pp. 145-186). Greenwich, CT.

Ineke, F.; Van Der Valk, T.; Leite, L. y Thoren, I. (1999). Pre-service physics teachers and conceptual difficulties on temperature and heat. *European Journal of Teacher Education, 22*(1), 61-74.

Jackson, P. (1968/91). *La vida en las aulas*. Madrid: Morata.

James, M. y Scharmann, L. (2007) Using Analogies to Improve the Teaching Performance of Preservice Teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, *44*(4), 565–585.

Jang, S., Tsai, M. y Chen, H. (2013). Development of PCK for novice and experienced university physics instructors: A case study. *Teaching in Higher Education, 18*(1), 27-39.

Janík, T., Najvar, P., Slavík, J. y Trna, J. (2009). On the dynamic nature of physics teachers' pedagogical content knowledge. *Orbis Scholae*, *3*(2), 47-62.

Jiménez, M. P. (1988). Enseñanza de las ciencias. *Cuadernos de Pedagogía, 155,* 8-10.

Joshua, S. y Dupin, J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. París: PUF.

Kagan, D. M. (1992). Professional development among pre-services and beginning teachers. *Review of Educational Research, 62*(2), 129-169.

Klopper, L. E. (1983). Research and the crisis in science education. *Science Education, 67*(3), 283-84.

Lakoff, G. y Johnson, M. (2004). *Metáforas de la vida cotidiana*. (6a. ed.). Madrid: Cátedra.

Lampert, M. (1984). Teaching about thinking and thinking about teaching. *Journal of Curriculum Studies,16*, 1-18.

Lave, J. (1988). *Cognition in practice*. Cambridge: Cambridge University Press.

Lederman, N. Gess-Newsome, J. y Latz, M. (1994). The nature and development of pre-service science teacher' conceptions of subject matter and pedagogy. *Journal of Research in Science Teaching, 31*(2), 129-146.

Leinhardt, G. (1988). Situated knowledge and expertise in teaching. En J. Calderhead (Ed.), *Teachers professional learning* (pp. 146 -168). London: Farmer Press.

Lemke, J. L. (2013). Analyzing Verbal Data: Principles, Methods, and Problem. En B. J. Fraser *et al.* (Eds.), *Second International Handbook of Science Education*, 1471 Springer. International Handbooks of Education 24, DOI 10.1007/978-1-4020-9041-7_94, 1471-1484.

Linn, M. (1987). Establishing a research base for science education: challenges, trends and recommendations. *Journal of Research in Science Teaching, 24*(3), 191-216.

Llancaqueo, A., Caballero, C. y Moreira, M. A. (2003). El aprendizaje del concepto de campo en física: Una investigación exploratoria a la luz de la teoría de Vergnaud. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, *25*(4), 1-7.

Loughran, J., Berry, A. y Mulhall, P. (2006). *Understanding and developing science teachers. Pedagogical content knowledge*. Rotterdam: Sense Publishers.

Lucas, A. (1986). Tendencias en investigación sobre enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias, 4*(3), 189-199.

Lucio, R. (1989). Educación y pedagogía, enseñanza y didáctica: Diferencias y relaciones. *Revista de la Universidad de La Salle, 11*(17), 35-46.

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.

Marcelo, C. (1992). Como conocen los profesores la materia que enseñan. Algunas contribuciones de la investigación sobre conocimiento didáctico del contenido. En *Las didácticas específicas en la formación del profesorado* (pp. 191-211). Santiago de Compostela.

Marcelo, G. (1987). *El pensamiento del profesor*. Barcelona: Ceac.

Marks, R. (1990). Pedagogical content knowledge: from a mathematical case to a modified conception. *Journal of Teacher Education, 41*(3), 3-11.

Martín 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.

Martín del Pozo, R. (1994). *El conocimiento del cambio químico en la formación inicial del profesorado. Estudio de las concepciones disciplinares y didácticas de los estudiantes de magisterio* (tesis doctoral inédita) Sevilla: Universidad de Sevilla.

Martín, J. y Solbes, J. (2001). Diseño y evaluación de una propuesta para la enseñanza del concepto de *campo* en física. *Revista Enseñanza de las Ciencias, 19*(3), 393-40.

Martinand, J. L. (1987). Quelques remarques sur les didactiques des disciplines. *Les Sciences de l'Éducation, 1*(2), 23-36.

Martínez, C. (2000). *Las propuestas curriculares sobre el conocimiento escolar en el área de conocimiento del medio: dos estudios de caso en profesores de primaria* (tesis doctoral). Programa Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales, un enfoque interdisciplinar. Sevilla: Universidad de Sevilla.

Martínez, S. (1998). *La didáctica de las ciencias como campo específico de conocimientos. Génesis, estado actual y perspectivas* (tesis doctoral). Valencia: Universidad de Valencia.

Martínez, C., y Rivero, A. (2009). Las propuestas de conocimiento escolar: Entre el conocimiento científico y el escolar. *Revista Enseñanza de las Ciencias (número extra)*. VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias. Barcelona, pp. 1888-1893.

Maxwell, J. (1881). *An elementary treatise on electricity*. New York: Dover Publications.

Maxwell, J. A. (1996). Qualitative research designs. An interactive approach. *Sage Publications,* 1-13.

McEwan, H. (1987). *Interpreting the subject domains for students: Towards a rhetorical theory of teaching*. (Unpublished PhD thesis) University of Washington.

McIntyre, D. (1992). Theory, theorizing and reflection in initial teacher education. En J. Calderhead (Ed.). *Conceptualizing Reflection in Teacher Development* (pp. 39-52). London: Falmer Press.

Melo, L., Cañada, F. y Mellado, V. (2014). Initial Characterization of a Colombian High School Physics Teacher' Pedagogical Content Knowledge on Electric Fields. Conference proceedings International Conference New perspectives in Science education. Libreriauniversitaria.it.

Mellado, V. (1996). Concepciones y prácticas de aula de profesores de ciencias, en formación inicial de primaria y secundaria. *Enseñanza de las Ciencias, 14*(3), 289-302.

Mendoza, A. (1998). Concepción y creencias de la evaluación en el docente. *Revista Interuniversitaria de Formación del profesorado*, 33, 107-120.

Meneses, J. A. y Caballero, M. C. (1995). Secuencia de enseñanza sobre el electromagnetismo. *Enseñanza de las Ciencias, 13*(1), 36-45.

Mora, L. (2007). *Evaluación diagnóstica en la atención de estudiantes con necesidades educativas especiales*. Costa Rica: Euned.

Moreno, M. (2005). El pensamiento del profesor. Evolución y estado actual de las investigaciones. *Pensamiento y conocimiento de los profesores. Debate y perspectivas internacionales*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.

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.

Muñoz, C. (1998). *Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis*. México: Prentice Hall.

Nardi, R. y Carvalho, A. M. (1990). A Gênese, a psicogênese e a aprendizagem do conceito de campo: subsídios para a construção do ensino desse conceito. *Caderno Caterinense de Ensino de Física, 7*, 47-69.

Nardi, R. (1994). História da ciência x aprendizagem: algunas semelhanças detectadas a partir de um estudo psicogenético sobre as ideias que evoluem para a noção de campo de força. *Enseñanza de las Ciencias, 12*(1), 101-106.

Nias, J. (1989). *Primary teachers talking: a study of teaching as work*. New York: Routledge.

Nicholson, P. (2001). Teachers, turtles, and gravity. (*Conference Paper in European Logo Conferenc*e) School of Scientific and Developmental Studies in Education. Deakin University.

Obregoso, A., Vallejo, Y. y Valbuena, E. (2014). El conocimiento didáctico del contenido de las ciencias naturales en docentes en formación inicial de primaria. Un estudio de caso En *Conocimiento profesional del profesor de ciencias de primaria y conocimiento escolar*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Series grupos Doctorado Interinstitucional en Educación.

Ogan, B. (2006). Pre-service physics teachers knowledge of models and perceptions of modeling. *GIREP modeling in physics and physics education kongres bildiriler kitabi* (pp. 1068-1072). Amsterdam: ERIC Döküman Numaras.

Ogan, B. (2007). Effects of model-based teaching on pre-service physics teachers' conceptions of the moon, moon phases, and other lunar phenomena. *International Journal of Science Education*, *29*(5), 555-593.

Oró, I. (2000). *Conocimiento del medio natural*. En Zabala, A. *et al*. (Coords.). *Cómo trabajar los contenidos procedimentales en el aula*. Graó: Barcelona.

Paer (2010). *Assesment Tasks Rutgers University*. Recuperado de http://paer.rutgers.edu/scientificAbilities/Downloads/FormAssessTasks/Eval.pdf

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.

Perafán, G. (2004). *La epistemología del profesor sobre su propio conocimiento profesional* (tesis doctoral), UPN, Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.

Perafán, G. (2012). *La transposición didáctica como estatuto epistemológico fundante de los saberes académicos del profesor*. Memorias III Congreso de Educación y Pedagogía. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Perales, F. y Cañal, P. (2000). *Didáctica de las ciencias experimentales. Colección Ciencias de la Educación*. España: Marfil.

Pernilla, N. (2008). *Learning to teach and teaching to learns, primary science students teachers' complex journey from learners to teachers*. (tesis doctoral The Swedish National Graduate School in Science and Technology Education, Fontd) Department of Social and Welfare Studies Linköping University. LiU-Tryck, Linköping University, Linköping, Sweden.

Poon, C. H. (1986). Teaching field concept and potential energy at A-level. *Physics Education*, 21, 307-316.

Porlán, R. (1993). *Constructivismo y escuela. Hacia un modelo de enseñanza-aprendizaje basado en la investigación*. Sevilla: Díada.

Porlán, R. (1998). Pasado, presente y futuro de la didáctica de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias. 16*(1), 175-185.

Porlán, R. y Martín, J. (1991). *El diario del profesor. Un recurso para la investigación en el aula*. Sevilla: Díada.

Porlán, R. y Rivero, A. (1998). *El conocimiento de los profesores. Una propuesta formativa en el área de ciencias*. Sevilla: Díada.

Porlán, R., Azcárate, P., Martín, R., Martín, J. y Rivero, A. (1996). Conocimiento profesional deseable y profesores innovadores. Fundamentos y principios formativos. *Investigación en la Escuela*, 29, 23-38.

Porlán, R., Rivero, A. y Martín del Pozo, R. (2000). El conocimiento del profesorado sobre la ciencia, su enseñanza y aprendizaje. En F. Perales y P. Cañal (Comps.). *Didáctica de las ciencias experimentales* (pp. 507-533). España: Marfil.

Pro, A. y Saura, O. (2000). La enseñanza y el aprendizaje del conocimiento físico. En F. Perales y P. Cañal. (Comp.) *Didáctica de las ciencias Experimentales,* pp. 389-420. Alcoy: Marfil.

Raduta, C. (2005). *General Students' Misconceptions Related to Electricity and Magnetism*. Physics Department the Ohio State University

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.

Riese, J., Vogelsang, C. y P. Reinhold (2013). Pre-service physics teachers pedagogical content knowledge in different teacher education programs. Recuperado de: www.esera.org/media/ebook/strand13/ebook-esera2011_RIESE-13.pdf.

Rivero, A. (2000). Enseñando a los futuros maestros y maestras a enseñar conocimiento del medio: Intenciones y dificultades. *Investigación en la Escuela, 42,* 17-27.

Román J. A. (2007). Lo que las metáforas obran furtivamente: discurso y sujeto. *Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research*, *8*(2),

Sadler, R. (1989). *Instructional Science,* 18, 119-144.

Sánchez, G. y Valcárcel, M. (1990). Ideas de los alumnos de diferentes niveles educativos sobre disolución. *Investigación en la Escuela*. 11, 51-60.

Sánchez, G. y Valcárcel, M. (2000). ¿Qué tienen en cuenta los profesores cuando seleccionan el contenido de enseñanza? Cambios y dificultades tras un programa de formación. *Enseñanza de Las Ciencias*, *18*(3), 423-437.

Sánchez, U. (2011). *Manual de redacción académica e investigativa: C*ómo escribir, evaluar y publicar artículos. Medellín: Fundación Universitaria Católica del Norte.

Sanmartí, N. (2000). El diseño de unidades didácticas. En F. Perales y L. Cañal (Eds.). *Didáctica de las ciencias experimentales*. Colección Ciencias de la Educación. Alcoy: Marfil.

Sarabia, B. (1992). El aprendizaje y la enseñanza de las actitudes. En C. Coll, J. I. Pozo, B. Sarabia y E. Valls (Eds.). *Los contenidos en la Reforma*. Madrid: Santillana.

Schön, D. (1983). *The reflective practitioner: how professionals think in action*. London: Temple.

Schön, D. (1992). *La formación de profesionales reflexivos. Hacia un nuevo diseño de la enseñanza y el aprendizaje en las profesiones.* Madrid: Paidós/MEC

Schwab, J. (1978). *Science, curriculum and liberal education.* Chicago: University of Chicago Press.

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.: McGraw-Hill.

Shulman, L. S. (1984). The missing paradigm in research on teaching. *Research and development Center for teacher education*.

Shulman, L. S. (1986). Those who understand: knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, *15*(2), 4-14.

Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, *57*(1), 1-22.

Shulman, L. S. (1989). Paradigmas y programas de investigación en el estudio de la enseñanza: Una perspectiva contemporánea. En M. C. Wittrock (Comp.) *La investigación de la enseñanza, I. Enfoques, teorías y métodos*. Paidós.

Shulman, L. S. (2001). Conocimiento y enseñanza. *Estudios Públicos,* 83.

Simmons, P., Emory, A., Carter, T., Coker, T., Finnegan, B. y Crockett, D. (1999). Beginning teachers: Beliefs and classroom actions. *Journal of Research in Science Teaching,* 36, 930-954.

Sneider, C. I. y Ohadi, M. (1998). Unraveling Students misconceptions about the earth's shape and gravity. *Science Education, 82*(2), 265-284.

Sperandeo-M., Fazio, C. y Tarantino, G. (2006). Pedagogical content knowledge development and pre-service physics teacher education: A case study. *Research in Science Education*, *36* (3), 235-268.

Stake, R. (1998). *Investigación con estudio de casos.* Madrid: Morata.

Stengel, B. (1992). Pedagogical content knowledge: Usefully wrong?: The reform agenda. Paper presented at the annual meeting of the AERA, San Francisco.

Strauss, A. y Corbin, J. (1990). *Basics of qualitative research: Grounded theory procedures and techniques.* Newbury Park: Sage.

Tamir, P. (2005). *Conocimiento profesional y personal de los profesores y de los formadores de profesores*. *Teacher and Teaching Education*, 7 (3), 263-268.

Tiberghien, A. (1983). La investigación en un laboratorio de didáctica de las ciencias físicas. *Enseñanza de las Ciencias,* 1(3), 187-192.

Tiberghien, A. (1985). Quelques éléments sur l'evolution de la recherche en didactique de la physique. *Revue Frangaise de Pédagogie, 72*, 71-86.

Törnkvist, K., Peterson A, y Tranströmer G. (1993). Confusion by representation: On student´s comprensión of the electric field concept. *American Journal of Physics, 61* (4).

Torres, J. (2003). *Física en contexto. Una visión unificada de sus conceptos y resultados*. México: Editorial Trillas.

Tripp, D. (1992). Critical theory and educational research. *Educational Research, 2*(1), 13-23.

Turner-Bisset, R. (1999). Knowledge bases of the expert teacher. *British Educational Research Journal, 25*(1).

Turner-Bisset, R. (2001). *Expert teaching. Knowledge and pedagogy to lead the profession*. London: Fulton.

Valbuena, E. (2007). El conocimiento didáctico del contenido biológico. Estudio de las concepciones disciplinares y didácticas de futuros docentes de la

Universidad Pedagógica Nacional (UPN) (tesis doctoral). Madrid: Universidad Complutense de Madrid.

Van Dijk, E. y Kattmann U. (2007). A research model for the study of science teachers' PCK and improving teacher education. *Teaching and Teacher Education*, *23*, 885–897.

Vasco, C. (1990). *Algunas reflexiones sobre la pedagogía y la didáctica. pedagogía, discurso y poder.* Bogota: Corpodric.

Vasilachis, I. (2006). *Estrategias de investigación cualitativa*. Barcelona: Gedisa.

Vázquez, A. y Manassero, M. A. (1995). Actitudes relacionadas con la ciencia: Una revisión conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, *13*(3), 337-346.

Veal, W. Tippins, D. y Bell, J. (1999). *The Evolution of Pedagogical Content Knowledge in Prospective Secondary Physics Teachers* (Report Research, 143). Bloomington: Indiana University.

Veal, W. (1999). The TTF model to explain PCK in teacher development. *Annual Meeting of the National Association For Research In Science Teaching*, 28-31.

Vergnaud, G. (1993). Teoria dos campos conceituais. En Nasser, L. (Ed.) *Anais do 1° Seminário Internacional de Educação Matemática do Rio de Janeiro*.

Viennot, L. y Rainson, S. (1992). Students reasoning about the superposition of electric fields. *International Journal of Science Education*, *14*(4), 475-487.

Viennot, L. (1989). L'enseignement des sciences phusiques object de recherche. *Bulletin de Uunion desPhysiciens, 716,* 899-910.

Viennot, L. (1992). Raisonnement à plusiers variables: Tendances de la pensée commune. *Aster, 14,* 127–141.

Viennot, L. (2002). *Razonar en f*ísica. *La contribución del sentido común*. Madrid: A. Mahado Libros.

Villegas, R. y Ramírez, R. (1998). *Galaxia Física 11*. Bogotá: Voluntad.

Warren, A. (2006). *Evaluation Strategies as a Means for Learning Physics*. Recuperado de: http://paer.rutgers.edu/ScientificAbilities/Papers+Talks+and+Presentations/default.aspx.

Watts, M. (1982). ¡Gravity don't take for granted! *Physics Education*, *17*, 116-121.

Welch, W. (1985). Research in science education: review and recommendations. *Science Education, 69*, 421-448.

Wilson, D. y Buffa, J. (2003). *Física*. México: Pearson.

Wittrock, M. (1997). *La investigación de la enseñanza, II. M*étodos cualitativos y de observación. Barcelona: Paidós.

Xiaoyan Z. (2007). Understanding PCK: its backgrounds, components and models – a comprehensive review on PCK in the past two decades. *CELEA Journal, 75*(30), 84-93.

Yager, R. y Kahle, J. (1982). Priorities for needed policies and research in science education. *Journal of Research in Science Teaching, 17*, 523-530.

Yager, R. y Penick E. (1983). Analysis of the current problems with school science in the USA. *European Journal of Science Education, 5,* 463-459.

Yin, R. K. (1993). *Applications of case study research*. Thousand Oaks: Sage Publications.

Yinger, R. J. (1986). Investigación sobre el conocimiento y pensamiento de los profesores. Hacia una concepción de la actividad profesional. En *Actas I Congreso Internacional sobre Pensamientos de los Profesores y Toma de Decisiones*. Sevilla: Universidad de Sevilla.

Zabala, A. *et al.* (Coords.) (2000). *Cómo trabajar los contenidos procedimentales en el aula*. Barcelona: Editorial Graó.

Zembal-Saul, C., Blumenfeld, P. y Krajcik, J. (2000). Influence of guided cycles of planning, teaching, and reflection on prospective elementary teachers' science content representations. *Journal of Research in Science Teaching, 37*(4), 318-339.

Zitzewitz, P., Neff, R. y Davids, M. (1995). *Física. Principios y problemas 2*. Bogotá: McGraw-Hill.

# Autor

**Jaime Duván Reyes Roncancio**

Licenciado en Física, de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas; magíster en Docencia de la Física, de la Universidad Pedagógica Nacional; doctor en Educación, énfasis en Enseñanza de las Ciencias Naturales del Doctorado Interinstitucional de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Docente asociado de la Maestría en Educación y del Proyecto Curricular de Licenciatura en Física, de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas; investigador en Didáctica de las Ciencias Naturales. Algunas de sus publicaciones son: *Conocimiento didáctico del contenido del profesor de física experimentado en la enseñanza del movimiento ondulatorio* (2011); "El parque de diversiones como laboratorio de física mecánica" (2011); "Tras las huellas de la investigación en educación de la física desde los proyectos del IDEP, el CIUP y la Universidad Distrital Francisco José de Caldas en la década 1995–2005"; "El profesor de Física y las clases exitosas" (2009); El concepto de fuerza en profesores de Física en formación"; "Concepciones como docentes de matemáticas acerca de elementos estructurales del currículo de matemática. Experiencia de investigación en el municipio de Sutatenza-Boyacá" (2008); "El pensamiento del profesor de Física y el concepto de espacio (2006); "El conocimiento de los estudiantes en física y la formación básica del ingeniero.

Este libro se
terminó de imprimir
en junio de 2016
en la Editorial UD
Bogotá, Colombia