



CPU-e, Revista de Investigación  
Educativa

E-ISSN: 1870-5308  
cpu@uv.mx

Instituto de Investigaciones en Educación  
México

Romero Chacón, Ángel; Aguilar Mosquera, Yirsén; Mejía, Luz Stella  
Naturaleza de las ciencias y formación de profesores de física. El caso de la  
experimentación

CPU-e, Revista de Investigación Educativa, núm. 23, julio-diciembre, 2016, pp. 75-98  
Instituto de Investigaciones en Educación  
Veracruz, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=283146484005>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

## Revista de Investigación Educativa 23

julio-diciembre, 2016 | ISSN 1870-5308 | Xalapa, Veracruz

© Todos los Derechos Reservados

Instituto de Investigaciones en Educación | Universidad Veracruzana

### Naturaleza de las ciencias y formación de profesores de física. El caso de la experimentación

**Dr. Ángel Romero Chacón**

Profesor-Investigador, Facultad de Educación, Universidad de Antioquia, Colombia

[angel.romero@udea.edu.co](mailto:angel.romero@udea.edu.co)

**Mtro. Yirsen Aguilar Mosquera**

Profesor, Facultad de Educación, Universidad de Antioquia, Colombia

[yirsen.aguilar@udea.edu.co](mailto:yirsen.aguilar@udea.edu.co)

**Dra. Luz Stella Mejía**

Profesora, Facultad de Educación, Universidad de Antioquia, Colombia

[luzes1stel@gmail.com](mailto:luzes1stel@gmail.com)

Se presentan algunos fundamentos y resultados de la investigación titulada “La experimentación y los procesos de formación de profesores de ciencias naturales”, desarrollada por el Grupo de Estudios Culturales sobre las Ciencias y su Enseñanza de la Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. La investigación tuvo como propósito fundamentar una propuesta de formación de profesores de física, que aborde la experimentación en estrecha relación con reflexiones surgidas de la Naturaleza de las ciencias. Se desarrolló tanto un análisis documental como un estudio de caso de tipo cualitativo-interpretativo, de los enunciados de un grupo de profesores de física a propósito de temáticas relacionadas con la experimentación. Los análisis desarrollados permitieron caracterizar formas de asumir el rol de la experimentación en la clase de ciencias, que sirvieron de base para diseñar una propuesta de enseñanza de las ciencias en torno a la experimentación, dirigida a la formación de profesores de física y contextualizada con aportes de la Naturaleza de las ciencias.

**Palabras clave:** Enseñanza de las ciencias; formación de profesores; experimentación; filosofía de la ciencia; historia de la ciencia.

**Recibido:** 25 de septiembre de 2015 | **Aceptado:** 29 de febrero de 2016

Some foundations and results of the research entitled “The experimentation and training processes of science teachers”, developed by the Group Estudios Culturales sobre las Ciencias y su Enseñanza at the University of Antioquia, Medellín, Colombia, are presented. The research was aimed to support a physics teacher training proposal, addressing experimentation and closely with reflections that comes from the Nature of science. A documentary analysis was developed both as a case study of qualitative-interpretative type of statements of a group of physics teachers about issues related to experimentation. The developed analyzes allowed to characterize ways to assume the role of experimentation in science class, which formed the basis for designing a proposal for science teaching around experimentation, aimed at physics teacher training and contextualized with contributions from the Nature of science.

**Keywords:** Science education; training teachers; experimentation; philosophy of science; history of science.

## Naturaleza de las ciencias y formación de profesores de física. El caso de la experimentación

Nature of science and physics teacher training.  
The experimentation case

### 1. Naturaleza de las ciencias y formación de profesores

Múltiples son las propuestas de enseñanza de las ciencias naturales que resaltan el papel activo que debe desempeñar el profesor, en el sentido de tomar decisiones conscientes y asumir posturas críticas frente a los procesos que orienta. Pero, ¿qué implica reflexionar sobre el saber y la enseñanza? Para dar respuesta a esta cuestión es preciso percibirse que según el modo como se comprende y asume el conocimiento (la ciencia en nuestro caso) se establecen modos e intenciones particulares de enseñarlo. Complementariamente, es mediante su enseñanza que se hacen explícitas las formas particulares de significar la ciencia. Y es precisamente esta estrecha relación entre el saber y su enseñanza la que pone en evidencia que es por medio de la actividad de enseñar la ciencia como se pueden propiciar cambios en la forma de darle sentido.

Estas consideraciones contrastan con el reiterado llamado a la comunidad de profesores de ciencias sobre la necesidad de construir y fortalecer criterios de análisis (disciplinar y meta disciplinar) que propicien en ellos la selección, diseño e implementación de temáticas alternativas, que contribuyan a superar el letargo y la obsolescencia característicos de la enseñanza en los diferentes niveles (Ayala, 2006; Duschl, 1995). Como alternativa para encarar estas dificultades, hace varias décadas se viene reclamando la necesidad de incluir, en la formación de profesores, reflexiones acerca de la historia, la filosofía y la sociología de la ciencia (Duschl, 1995; Matthews, 1994; Rodríguez & Romero, 1999). En el marco de este contexto se ha empezado a instaurar el término *Naturaleza de las ciencias* (NDC en adelante). Aunque polisémica, con esta expresión se hace alusión a un meta-conocimiento sobre la ciencia, nutrido de reflexiones interdisciplinares desde la filosofía, la historia y la sociología de la ciencia, que aborda cuestiones como: ¿Qué es la ciencia? ¿Cómo se diferencia de otras actividades humanas? ¿Cómo se construye, valida y difunde el conocimiento que produce? ¿Cuáles son los valores implicados en esta actividad y sus relaciones con la sociedad? (Acevedo-Díaz, 2008; McComas, 2004).

Se afirma que, en el ámbito de la formación de profesores de ciencias, una adecuada comprensión de la NDC tiene beneficios como: i) Es necesaria para apreciar el valor de la ciencia (sus alcances y sus límites) como dimensión cultural; ii) se constituye en una producción intelectual valiosa, que debería formar parte de la cultura integral de los ciudadanos como requisito para tomar decisiones informadas sobre cuestiones tecno-científicas de interés social; iii) genera ideas, materiales, recursos, enfoques y textos para diseñar y mejorar la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, y iv) facilita la estructuración de currículos porque permite identificar modelos fundamentales de cada disciplina (Adúriz-Bravo, 2005; Matthews, 1994; Osborne, Collins, Ratcliffe, Millar & Duschl, 2003). Pese a estos consensos, se han reconocido algunas dificultades relacionadas con su implementación efectiva, entre las que se destacan: i) el propio significado de la NDC como contenido polisémico y multidisciplinario (Acevedo-Díaz, 2008); ii) la carencia de estas reflexiones en la formación del profesorado (Höttinger & Silva, 2010), y iii) la falta de material didáctico adecuado que pueda ser utilizado en la enseñanza (Martins, 2006). Adicional a estas dificultades, se han manifestado cuestionamientos concernientes al hecho de que muchas de las temáticas que aborda la NDC no se desarrollan de la misma manera en las diferentes ciencias (física, química, biología). En este sentido, Van Dijk (2011) reclama que los posibles consensos en la significación y bondades de la NDC desconocen la heterogeneidad real de las ciencias. Otros autores, a la vez que reconocen la existencia de algunas prácticas normativas comunes entre las ciencias y que resaltan la importancia de llevarlas a discusión en

—todas— las clases de ciencias, aportan a una discusión en torno a las diferencias en los modos en que ciertas reflexiones acerca de la NDC se significan y funcionan en disciplinas específicas, como es el caso de la biología (McComas, 2015) o de la química (Erduran, Bravo & Naaman, 2007). En línea con estos últimos autores, el presente texto pretende ilustrar la forma como ciertos nodos temáticos de la física, fundamentados y abordados a la luz de discusiones acerca de la NDC, pueden favorecer en los profesores de ciencias una mejor comprensión de la dinámica de esta disciplina, a la vez que posibilitan la construcción de una imagen socio-histórica de la construcción de conocimiento.

Considerando que la enseñanza de las ciencias —y de la física en particular— debe aportar efectivamente a la apropiación crítica del conocimiento y a la constitución de nuevas actitudes y miradas hacia la ciencia, ¿cuál perspectiva acerca de la NDC, y qué forma de abordar sus cuestiones es adecuada para la formación de profesores de física? En este sentido, se debe reconocer que cualquier forma de abordar la NDC no necesariamente resulta pertinente para una “apropiación social de los conocimientos científicos y la consecuente consolidación de una masa crítica de profesores de ciencias con autonomía intelectual y capacidad de interlocución con los contextos de producción del conocimiento científico” (Romero, 2013, p. 41).

## 2. La experimentación en la formación de profesores de física

Como alternativa para abordar estas problemáticas, se presentan algunos fundamentos de una propuesta de enseñanza de la física dirigida a profesores en formación, focalizada en la experimentación y contextualizada en reflexiones acerca de la NDC. La propuesta surgió en el marco de la investigación titulada “La experimentación y los procesos de formación de profesores de ciencias naturales”, desarrollada por el Grupo de Estudios Culturales sobre las Ciencias y su Enseñanza (ECCE), de la Universidad de Antioquia (Medellín, Colombia), entre 2013 y 2015.

El rol de la experimentación en la formación de profesores de física se constituye en una problemática particularmente interesante y fructífera para adelantar e implementar reflexiones acerca de la NDC, tanto por la estrecha relación que puede establecerse entre esta dimensión y los procesos de construcción de conocimiento, como porque su modo de significarla devela, también, un modo particular de asumir la ciencia y su enseñanza. No obstante, aunque se han identificado y caracterizado varias visiones del conocimiento científico en su relación con la actividad experimental (Ferreirós & Ordóñez, 2002; Romero & Aguilar, 2013), las implicaciones que estas

perspectivas puedan llegar a tener en la enseñanza de la física apenas comienzan a ser objeto de análisis y reflexión. Tomando como fundamento que el modo de significar la relación teorización-experimentación, y de implementarla en la clase de ciencias, es subsidiario de una forma particular de asumir la naturaleza de la actividad científica, esta investigación tuvo como propósitos: i) caracterizar las prácticas y discursos de los profesores de física en los programas de formación de profesores de ciencias de la Universidad de Antioquia, en relación con la forma como consideran la experimentación en la enseñanza, y, a partir de tal caracterización, ii) construir elementos conceptuales —acerca del papel de la actividad experimental en los procesos de conceptualización y enseñanza de los fenómenos físicos— que permitan diseñar orientaciones pedagógicas sobre el modo de asumir la ciencia y su enseñanza, en estrecha relación con reflexiones acerca de la NDC.

### 3. Diseño metodológico

La investigación se enmarcó en el enfoque cualitativo-interpretativo y se utilizó el *estudio de caso* como estrategia metodológica (Stake, 2005). Al ser una investigación interpretativa, se asumió que las producciones escriturales y los discursos de los participantes eran indicio de sus concepciones y presupuestos. En tal sentido, un análisis cualitativo de los contenidos expresados por los participantes en entrevistas, cuestionarios y otros textos escritos, reflejó sus formas particulares de concebir la ciencia y su enseñanza. La opción por el análisis de documentos de aquello que se comunica se considera un material poco reactivo; no obstante, se trata de la construcción de un objeto de estudio que, como lo señala Piñuel (2002), no está exento de sesgos en los investigadores.

La investigación se realizó en cuatro fases:

i) *Fundamentación teórico-discursiva*, durante la cual se realizó un análisis documental tanto del campo de la filosofía de las prácticas experimentales como del enfoque de la enseñanza en ciencias que resalta la indagación histórica y epistemológica de la física con fines pedagógicos. Este análisis documental posibilitó la construcción de una red de categorías por medio de la cual se organizaron e interpretaron los discursos de los profesores participantes.

ii) *Caracterización de las formas de uso y discursos relacionados con la experimentación en los procesos de formación de profesores de ciencias*, en donde se interpretaron las informaciones y producciones escritas y orales de los participantes recolectadas por medio de ciertos instrumentos. Para efectos de la interpretación, se diseñaron

algunos indicios observables en las unidades de registro seleccionadas, consideradas éstas como enunciados o secuencias de enunciados de los participantes (Latour & Woolgar, 1995).

iii) *Diseño e implementación de la propuesta pedagógica* a partir de los hallazgos obtenidos, cuyo propósito es la vinculación de reflexiones acerca de la NDC en la formación de profesores de física.

iv) *Sistematización de hallazgos y construcción del informe final*, que permitió determinar algunos presupuestos y características de la actividad experimental en el aula, utilizados por los profesores cuando abordan actividades investigativas centradas en la experimentación y fundamentadas en reflexiones acerca de la NDC.

En la investigación participaron seis profesores de los cursos de física de las Licenciaturas en Matemáticas y Física, así como en Educación Básica, énfasis en Ciencias Naturales y Educación Ambiental, de la Universidad de Antioquia. Su selección se realizó atendiendo a su disponibilidad para participar de la investigación y a su formación como físicos o licenciados en física. Previo a la implementación, se adelantó un análisis documental de los programas y guías de laboratorio propuestos por los mismos profesores para sus cursos. Para recoger la información se diseñaron cinco sesiones, cada una con una duración de dos horas. En la primera, se aplicó un cuestionario que indagaba sobre las formas de asumir la relación teoría-experimentación en la actividad científica y en los procesos de enseñanza (Anexo). Complementariamente, en esta sesión se realizaron preguntas relacionadas con asuntos observados en los programas y en las actividades experimentales diseñadas por los profesores participantes. En la segunda y tercera sesión se aplicó una entrevista semiestructurada (Anexo) en la que se formularon preguntas atendiendo a los objetivos de la investigación y a los hallazgos obtenidos en el cuestionario y el conversatorio realizado en la primera sesión. En la sesión cuatro y cinco se realizó un conversatorio con los diferentes participantes para compartir y legitimar con ellos las interpretaciones de los investigadores.

La identificación y estructuración de las categorías, subcategorías e indicios (Tabla 1), resultado del análisis documental y conceptual adelantado en la primera fase, se discutirán en el apartado siguiente. Esta red de categorías se constituyó en el eje articulador y orientador del proceso de investigación, en el sentido que la integración de toda la información, a partir del análisis categorial, constituyó un corpus coherente que reflejó lo que se denominó hallazgos, enfocados en dar cuenta de los propósitos de la investigación. Las estrategias que se utilizaron para la credibilidad de la investigación fueron los pilotajes del cuestionario y las entrevistas, y la triangulación entre estamentos, instrumentos e investigadores.

Tabla 1. Categorías, subcategorías e indicios

Categoría	Subcategoría	Indicios (Observables en las unidades de análisis)
Relación teorización-experimentación	Relación de independencia	Énfasis en la teoría como fundamento de la experimentación (experimento como criterio de constatación de enunciados teóricos). Énfasis en la experimentación como fundamento de la teoría (experimento como único criterio de validación de enunciados conceptuales).
	Relación de constitución o complementariedad	Énfasis en la relación dialéctica entre teorización-experimentación: experimento y teoría se desarrollan y re-formulan conjuntamente.
Rol del instrumento en la construcción de conocimiento	Instrumento como medio de registro y constatación de datos	Instrumentos y procesos de medida dados con independencia de los sujetos que experimentan. Aparatos usados en cuanto a su carácter instrumental. Énfasis en la exactitud de las medidas.
	Instrumento como generador de fenomenologías	Instrumentos y procesos de medida constituidos interdependientemente con el fenómeno abordado. Énfasis en la construcción mediada por el lenguaje.
Finalidades de la experimentación	Experimentación como generadora de hábitos científicos	Énfasis en la enseñanza de reglas o procedimientos para obtener un conocimiento fiable: técnicas de manejo adecuado de instrumentos, precisión en toma de medidas, organización y análisis de información (datos).
	Experimentación como escenario para la construcción de explicaciones	Énfasis en la vinculación de procesos sociales y epistémicos en la realización y análisis de la experimentación: discutir, justificar y debatir explicaciones; validar representaciones; relacionar datos y conclusiones; evaluar aseveraciones a partir de experiencias.
	Experimentación como construcción (social) de fenomenologías	Énfasis en la organización y la comprensión de los fenómenos: producción de efectos sensibles; identificación de propiedades y construcción de magnitudes; identificación de regularidades.

## 4. Hallazgos y discusión

Se presentan, a continuación, algunos hallazgos resultado del análisis de la información recolectada, discutidos a la luz del sistema de categorías construido.

### 4.1 Relación teorización-experimentación

El análisis de los programas de curso y de las guías experimentales propuestas por los profesores participantes permite evidenciar que, en términos generales, la relación teorización-experimentación en las clases de física de los programas de formación de profesores analizados, es asumida y abordada de una manera estrechamente cercana a la perspectiva clásica de la filosofía de la ciencia, es decir, privilegiando en la enseñanza una sobrevaloración de la dimensión teórica sobre la dimensión experimental, y considerando el experimento como verificador de los enunciados teóricos, o como una simple aplicación de ellos (Romero & Aguilar, 2013). En efecto, el participante 1 (P1), cuando se le interroga por la relación entre la teoría y la experimentación (entrevista semiestructurada), expresa que en “el trabajo práctico de laboratorio [es] donde se ven reflejados la aplicación de los conceptos físicos trabajados en clase, lo que posibilita la conceptualización y discusión de estos con mayor profundidad” (P1). Así mismo, en el programa del curso (Física de Campos) se logra evidenciar que la intencionalidad no va más allá de asumir el experimento como una aplicación de la teoría y de poner énfasis en el manejo de los instrumentos, tal y como lo explicitan los objetivos específicos del curso de “aplicar la ley de Ohm y las leyes de Kirchhoff en la solución de situaciones físicas que involucren resistores”, y “utilizar adecuadamente los amperímetros y los voltímetros” (P1).

Una situación análoga se encuentra en otros participantes (P2, P3 y P4). En las actividades experimentales propuestas, ellos asumen como objetivo “aplicar los conocimientos aprendidos en clase, en las diferentes situaciones-problema involucradas en cada una de las actividades experimentales” (P2); añadiendo que el propósito de estas actividades experimentales “es buscar que el estudiante ponga en práctica los conocimientos adquiridos en las clases magistrales” (P2). En el mismo sentido, se enuncia que el objetivo central de la práctica es “que el estudiante aplique los principios de la estática y establezca una situación de equilibrio entre tres fuerzas coplanares. También se espera que repase los conceptos de suma de vectores y de transformaciones de coordenadas” (P3). Por su parte, el participante 4 expresa que:

El objetivo principal de esta práctica es verificar la conservación del momento lineal y de la energía cinética en colisiones elásticas. Paralelamente, se verifican los

principios de conservación de energía mecánica en cualquier sistema y también se repasan algunos conceptos de movimiento parabólico.<sup>1</sup> (P4)

En estos enunciados se evidencia que en el análisis de los programas de formación de los profesores de física participantes, la actividad experimental es asumida y abordada como un escenario de mera aplicación o verificación de los conceptos teóricos trabajados en clase. En consecuencia, es lícito plantear que esta situación propone una relación unidireccional o de separación entre los procesos de teorización y de experimentación, en la cual se sobrevalora la dimensión teórica sobre la experimental; hecho que concuerda con otras investigaciones que afirman que a estas pretensiones usuales subyace una idea de experimento como “el argumento más sólido que tiene la física para mostrar la validez de sus leyes y el rigor de sus principios” (Ubaque, 2009, p. 37). Consideramos que esta perspectiva es contraria a las formas contemporáneas de asumir la dinámica científica, aspecto que se expondrá más adelante.

#### **4.2 Papel del instrumento en la construcción de conocimiento**

El análisis de los enunciados de los participantes, expresados por medio de los diversos instrumentos y estrategias de recolección de la información (cuestionario de indagación sobre la relación teoría-experimentación, programas de cursos, guías de laboratorio propuestos y entrevistas semiestructuradas), permite afirmar que el rol asignado al instrumento, en su relación con la construcción de conocimiento, se orienta hacia un imaginario en el cual los efectos y hechos científicos son asumidos como si gozaran de una existencia externa e independiente tanto de los sujetos como de las circunstancias y, por consiguiente, donde el instrumento es valorado —exclusivamente— como medio de registro y constatación de datos provenientes de dicha realidad exterior.

Esta forma de asumir el instrumento es evidente en el participante 3 (P3), cuando considera que el adecuado manejo de los instrumentos debe ser propósito explícito en el diseño de las actividades experimentales, es decir, que el estudiante “manipule una gran variedad de instrumentos propios de las prácticas experimentales” (P3). De la misma manera, se puede interpretar la intencionalidad de P2 cuando expresa que “el éxito de esta práctica [experimental] radica en la habilidad para medir el tiempo. Repita el proceso seis veces procurando que la fuerza que se le proporcione a la esfera, para ponerla en

1. Es oportuno aclarar que esta misma guía de laboratorio —tanto en sus objetivos como en contenido— se encuentra circulando en la *web*, aspecto que refleja el carácter crítico e instrumentalista con que estas guías experimentales son abordadas en la enseñanza de las ciencias.

movimiento, sea siempre la misma” (P2). El exclusivo interés en el instrumento también se puede inferir del participante 1, cuando plantea como uno de los objetivos del programa de curso “utilizar adecuadamente los amperímetros y los voltímetros” (P1).

Estos enunciados ponen en evidencia que, para la mayoría de los profesores participantes de la investigación, el manejo cuidadoso de los instrumentos con miras a la correcta obtención de datos y la correspondiente verificación de los enunciados teóricos es, si no la principal, una característica fundamental de la actividad experimental en la dinámica científica. El instrumento es así reducido, como lo enuncian otros autores, a un conjunto de objetos que se disponen para la obtención de datos, “simples herramientas de trabajo que pierden todo su valor en el momento que dejan de ser útiles para sus fines originales” (Simó, García & Bertomeu, 2005, p. 60). En este sentido, puede afirmarse que el valor de los instrumentos y técnicas experimentales no está determinado por su necesidad en la producción de efectos y fenómenos naturales (como sucede en las formas contemporáneas de considerar la práctica científica), sino por su capacidad de reproducir fielmente los datos empíricos, para su posterior utilización como criterio de constatación o verificación de los enunciados teóricos.

#### 4.3 Finalidades de la experimentación

En consonancia con estas concepciones identificadas sobre la experimentación —y posiblemente como consecuencia de ellas—, los profesores participantes consideran como propósito central de la actividad experimental en la enseñanza de la física, la generación y desarrollo de técnicas y habilidades científicas, asociadas a ciertas reglas procedimentales que supuestamente caracterizarían el trabajo científico (método científico). Tales técnicas y destrezas son, entre otras, el escrupuloso seguimiento de pasos en la preparación de un experimento, el manejo cuidadoso de los instrumentos, la precisión en la toma de medidas o la correcta sistematización y análisis de los datos obtenidos. En esta perspectiva, para algunos de los profesores citados es necesario ofrecer a los estudiantes indicaciones exactas de los procedimientos a realizar, cuando expresan, por ejemplo, que “al carro se le adhiere la cinta de papel, la cual debe pasar por el timbre marcador de tiempo, revise que la cinta se mueva libremente por el timbre, luego encienda el timbre y ponga en movimiento el carro” (P4). Esta finalidad de constituir la experimentación en un escenario para la verificación de teorías o para la aplicación de conceptos, es reiterativa en los profesores participantes. El participante 1, en una actividad experimental plantea como objetivo “determinar las densidades de diferentes materiales y utilizar los conocimientos adquiridos en el marco teórico, para diseñar procedimientos experimentales que permitan resolver algunos problemas propuestos” (P1).

Estas declaraciones muestran, en los programas citados, la vigencia de la clásica imagen positivista de la ciencia, que enfatiza una clara separación y distinción entre la dimensión teórica y la dimensión experimental: en la enseñanza se imparte primero la teoría, luego se ofrece la práctica; la teoría aborda el concepto mientras que la experimentación da cuenta de su aplicación. Esto deriva en una trivialización e instrumentalización de la dimensión experimental al reducirla exclusivamente a lo observacional (lo que supondría que un buen experimentador es quien sigue un minucioso protocolo de observación). No es de extrañar, entonces, como lo constatan igualmente otras investigaciones (Koponen & Mäntylä, 2006; Malagón, Ayala & Sandoval, 2011), que la experimentación en las clases de ciencias sea asumida como un simple recurso didáctico, contingente a la construcción de explicaciones de los fenómenos naturales y a las correspondientes estrategias epistemológicas o procesos discursivos utilizados por quienes realizan tales explicaciones, o como respondiendo a protocolos altamente estandarizados que aseguran la comprobación o verificación de los enunciados teóricos.

Estos hallazgos sugieren que para debilitar el énfasis de la concepción positivista del conocimiento científico como fundamento de la enseñanza y desestimar la función puramente instrumental que cumplen las actividades experimentales, se requiere de un enfoque alternativo respecto al papel que cumple la experimentación en los programas de formación de profesores; enfoque que reconozca la interdependencia —complementariedad— entre la teorización y la experimentación, y a la vez incentiva los procesos discursivos en relación con la construcción de conocimiento. En síntesis, es necesaria una perspectiva de la experimentación que incorpore reflexiones concernientes a la NDC, fundamentadas en una óptica sociocultural acerca de la construcción del conocimiento científico.

## 5. Aportes de reflexiones acerca de la NDC respecto a la experimentación

Tomando como base de análisis que el modo de significar la relación entre la teoría y la experimentación, y de implementarla en la clase de ciencias, es subsidiario de un modo particular de asumir la naturaleza de la actividad científica, se exponen algunos aportes de temáticas propias de la NDC surgidos de reflexiones de la historia, la filosofía y la sociología de las ciencias.<sup>2</sup>

2. Algunos de estos aportes son discutidos en Romero (2013) y Romero y Aguilar (2013).

### 5.1 La interdependencia entre la dimensión teórica y la dimensión experimental

Reconociendo la importancia de la experimentación en la constitución y desarrollo de la actividad científica, recientes estudios históricos y filosóficos de las ciencias han señalado la necesidad de superar la mirada clásica —o heredada— de la filosofía de la ciencia, que resalta una visión acumulativa del conocimiento y una sobrevaloración de la dimensión teórica sobre la dimensión experimental, a favor de la constitución de un enfoque integral de la actividad científica que permita asumir la interdependencia de la experimentación y la teorización en la construcción del conocimiento (Hacking, 1996; Ferreirós & Ordóñez, 2002; Iglesias, 2004). Como lo resalta Iglesias (2004), aunque en la construcción del conocimiento científico se habla usualmente del mundo del pensamiento y del mundo de la realidad —es decir, de la teoría y el experimento—,

de lo que se trata cuando se hace ciencia es de ver el modo en que los pensamientos y la vida experimental *concuerdan* hasta darnos la idea de que, efectivamente, conocemos algún aspecto de la naturaleza o de la realidad. (citado en Romero, 2013, p. 47)

Fue justamente la segunda mitad del siglo XIX el contexto expedito en el que se configuró esta forma de plantear la relación teoría-experimento. Esta época vivió una reflexión sistemática sobre el rol de la experimentación en la organización de los fenómenos, que contribuyó al planteamiento de métodos alternativos en los que se resignificó la misma actividad científica como un proceso dialéctico entre la dimensión teórica y la dimensión experimental. La reflexión sobre cuestiones como las siguientes orientaron la constitución de esta perspectiva fenomenológica del mundo físico: ¿Qué relación se puede establecer entre la experiencia sensible y las formalizaciones propiamente dichas? ¿Un diseño experimental puede ser independiente de los procesos de conceptualización y formalización? ¿Tiene sentido hablar de los fenómenos por fuera de los marcos teóricos en los que estos se conciben? Desde esta manera de ver, el experimento desempeña un nuevo papel: deja de ser subsidiario de la teoría y se significa como una actividad interdependiente y complementaria a los procesos de teorización, es decir, las dos son asumidas como dimensiones constitutivas de la actividad científica (Romero & Aguilar, 2013). Se configura, así, otra manera de plantear la relación entre la dimensión teórica y la dimensión experimental: el producto de este proceso interactivo de los elementos intervenientes es el resultado de una adaptación recíproca de los métodos y técnicas experimentales y los aspectos teóricos, proceso que no tiene una dirección establecida.

### 5.2 El papel del Instrumento en la fabricación de efectos y hechos científicos

Como resultado de reflexiones de la perspectiva sociológica del conocimiento científico, desde la década de 1980 se ha venido fortaleciendo un enfoque que tiene como propósito el estudio de las formas como acontece la práctica científica, por medio de la identificación y observación naturalista de los episodios que le son propios (Iglesiás, 2004). De acuerdo con esta imagen, “no sólo la construcción del conocimiento científico tiene un carácter socio-cultural; es igualmente tributario de tal carácter lo que llamamos ‘realidad natural’ —o naturaleza” (Romero & Aguilar, 2013, p. 39). Dos aspectos son característicos de este enfoque: de una parte, el énfasis en que *lo natural* y *lo social* sean tratados simétricamente y que se propenda a mostrar la interdependencia existente entre ellos (Latour & Woolgar, 1995; Shapin, 1991); de otro lado, la relevancia de los denominados “elementos materiales” (serie de instrumentos, experimentos o técnicas fabricados para la producción científica) en la comprensión y análisis de las formas como se ha asumido y practicado la ciencia a lo largo de la historia (Hacking, 1996; Franklin, 1986; Pickering, 1995). Es en este sentido que Shapin (1991), a propósito de los análisis de las controversias sobre las experiencias con la máquina neumática de Boyle alrededor de 1660, considera el hecho científico como una categoría epistemológica y sociológica. Esta categoría, asumida como fundamento de la filosofía experimental y de su valor en tanto conocimiento válido, es “un producto de la comunicación y de la forma social necesaria para sostener y favorecer tal comunicación” (Shapin, 1991, p. 4). Por su parte, Latour (1991) no solo reclama la necesidad de tratar los conocimientos científicos igualitariamente con respecto a otras creencias sociales, sino que insiste que se debe admitir que tales conocimientos son, al mismo tiempo, sociales y naturales. Como lo señala Romero (2013), desde esta perspectiva el laboratorio es un espacio privilegiado para el análisis de la construcción de conocimientos científicos; por medio de él, Latour y Woolgar (1995) muestran “cómo los científicos están constantemente abocados a convencer y ser convencidos de aceptar como *hechos* las explicaciones que construyen y, consecuentemente, que sus prácticas están inmersas en procesos discursivos de debate y argumentación” (Romero, 2013, p. 50).

Este carácter histórico, fabricado, de la realidad natural le ha otorgado un papel protagónico a los instrumentos, procesos de medida y técnicas experimentales utilizados en la actividad científica. Estos elementos “no sólo son el nexo o canal de comunicación entre nuestros pensamientos y aquello que denominados naturaleza, sino que se convierten en la *condición de posibilidad* de los efectos científicos y los fenómenos naturales” (Romero & Aguilar, 2013, p. 49). Así, el diseño y construcción de los instrumentos no se realiza al margen de la construcción y organización del fenómeno,

“ambos aspectos, más que ser sucesivos o paralelos, se entrecruzan y enlazan en un proceso constructivo en el que en ocasiones no hay forma de caracterizar de manera separada uno de otro, hasta el punto de no diferenciarlos” (Romero & Amelines, 2015, p. 8). En este sentido, los aportes de Pickering (1995) resultan importantes; según este autor, en cualquier resultado experimental entran en juego tres elementos estructurales: un procedimiento material, un modelo instrumental y un modelo fenoménico. Y aunque al comienzo no hay relación aparente entre ellos, avanzando en el proceso se obtiene una coherencia tal que “los procedimientos materiales [...] al ser interpretados a merced de un modelo instrumental, producen hechos dentro del marco de un modelo fenoménico” (citado en Ferreirós & Ordóñez, 2002, p. 68).

Así, se puede afirmar que tanto los hechos científicos como los instrumentos tienen un carácter fabricado y, consecuentemente, es posible establecer una relación de constitución entre teorización y experimentación. El instrumento adquiere sentido en un contexto problemático en el cual se crean condiciones para su funcionalidad, y éste, a su vez, responde a las intencionalidades del sujeto en su intento de organizar los fenómenos en consideración.

## 6. Episodios históricos y su (re)contextualización. Una propuesta de inclusión de reflexiones acerca de la NDC

¿Cómo abordar satisfactoriamente, en el marco de la formación de profesores de física, reflexiones acerca de la NDC como las discutidas anteriormente? Los intentos de incorporar reflexiones acerca de la NDC en la enseñanza de las ciencias han sido caracterizados según dos enfoques bien diferenciados: el implícito y el explícito. El enfoque implícito sugiere que se puede adquirir una comprensión de aspectos relativos a la NDC mediante una enseñanza de contenidos disciplinares orientada hacia la adquisición de habilidades y hábitos científicos, involucrando directamente a los estudiantes en actividades de indagación (Acevedo-Díaz, 2008; Rudge, Cassidy, Fulford & Howe, 2014). El enfoque explícito, por su parte, resalta que se puede conseguir una mejor comprensión de la NDC mediante una enseñanza directa e intencionada de aspectos en este tópico, en la que, eventualmente, se utilizarán elementos de la historia, la filosofía y la sociología de la ciencia. Mientras que quienes practican el enfoque implícito asumen como supuesto que los procesos relativos a la enseñanza de los contenidos y habilidades científicas terminan implícitamente aportando al entendimiento de aspectos de la NDC, quienes defienden el enfoque explícito resaltan que el propósito de mejorar las visiones acerca de la NDC debe ser planeado e intencionado

en lugar de asumirse como un efecto colateral de determinada perspectiva de enseñanza de las Ciencias (Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002).

Otros investigadores, en esta misma línea, sostienen que el enfoque implícito no es suficiente para adquirir y comprender concepciones adecuadas de la NDC (Bennássar, Vázquez, Manassero & García-Carmona, 2011). No obstante, aunque los programas de formación de profesores incluyan en sus currículos contenidos sobre la NDC (usualmente por medio de cursos de Didáctica de las Ciencias y/o de Historia y Filosofía de las Ciencias), ello no significa que los profesores adquieran un conocimiento adecuado sobre estos aspectos ni que los aborden en sus propias clases de ciencias. La razón, un tanto determinante, es que la forma como el profesor de ciencias aprende el saber disciplinar, se constituye usualmente en su principal referente a la hora de enseñarlo (Ayala, 2006).

Los análisis adelantados y los hallazgos obtenidos en esta investigación, permiten afirmar que la inclusión de reflexiones acerca de la NDC en la formación de profesores no puede restringirse a un enfoque particular. Tan problemática o inadecuada resulta ser la ingenua identificación de la NDC con los procedimientos de indagación científica (enfoque implícito), como la consideración de que una meta-reflexión de las actividades y procedimientos de la ciencia puede adelantarse sin abordar y reflexionar sobre los contenidos disciplinares mismos (enfoque explícito). Enfatizar en la distinción y separación de una enseñanza de contenidos disciplinares y procesos de indagación científica, respecto a una enseñanza de contenidos y reflexiones de la NDC, solo contribuirá a perpetuar la resistencia a la reflexión y cambio respecto a la clase de contenidos disciplinares que deben hacer parte de la formación en ciencias impartida a los profesores.

La inclusión de tales reflexiones no pretende cambiar los cursos de ciencias por cursos sobre su historia o filosofía, ni llevar a la clase de ciencias las temáticas y polémicas centrales de estas disciplinas. El propósito es considerar la clase de ciencias como un escenario en el que es posible familiarizar a los futuros profesores con las tradiciones de la cultura científica, es decir, con los diferentes contenidos, discursos, modelos explicativos y dinámicas de las disciplinas científicas, a la vez que se promueve la constitución de una mirada crítica frente a ellos (Romero & Aguilar, 2013). Se precisa, para ello, asumir una perspectiva sobre la NDC “que permita visibilizar la pluralidad y el cambio constante en las preguntas, explicaciones, procedimientos y cánones de científicidad” (Romero, 2013, p. 46), al tiempo que favorezca la construcción de una historicidad del conocimiento científico en la que los profesores mismos se asuman como parte de esa historia, promoviendo una postura crítica y activa con relación a la ciencia.

Como una forma alternativa de dicha inclusión de reflexiones acerca de la NDC en la formación de profesores de ciencias, se esbozan a continuación los elementos estructurales de una propuesta de enseñanza de las ciencias en torno a la experimenta-

ción, dirigida a la formación de profesores y contextualizada con los aportes de la NDC discutidos. La propuesta, inspirada en Moura y Silva (2013), consiste en la selección y estudio de algunos episodios históricos de tópicos y contenidos de física, problematizados a la luz de ciertos contextos de análisis. La implementación de la propuesta y sus implicaciones es discutida ampliamente en Romero y Amelines (2015). En una primera estructuración e implementación de la propuesta, los episodios históricos seleccionados corresponden a fragmentos de narrativas científicas (textos de primera fuente), cuyo contenido está en estrecha relación con la temática objeto de investigación, a saber: el rol de la experimentación en la construcción de conocimiento.

El abordaje de las narrativas científicas seleccionadas toma como referente el uso de los estudios histórico-críticos de las ciencias en la enseñanza. De acuerdo con Ayala (2006) y Romero y Aguilar (2013), el propósito de esta clase de estudios no es develar el significado de un referente (concepto, principio o teoría), como si dicho significado fuese intrínseco a él. Tampoco consiste en encontrar lo que ciertos personajes representativos (científicos) concebían acerca de fenómenos o problemáticas particulares, ni de hacer seguimientos cronológicos de la evolución de un concepto específico, o de esclarecer los obstáculos por los cuales diferentes teorías han tenido dificultades en ser transmitidas o comprendidas. Por el contrario, con ellos se pretende establecer una relación dialógica con los autores por medio del análisis de sus narrativas, con miras a construir estructuraciones particulares de la clase de fenómenos abordados y nuevas formas de ver el mundo físico, que permitan ver viejos problemas con nuevos ojos.

En la propuesta, los contextos de análisis corresponden a las diferentes dimensiones en las que los episodios históricos seleccionados pueden ser abordados en las clases de física de programas de formación de profesores. Para su implementación, se diseñaron tres contextos de análisis: el disciplinar, el de la NDC y el pedagógico-didáctico. El contexto disciplinar es la dimensión en la que se analizan los contenidos científicos que presenta el episodio. El contexto de la NDC es aquel en el cual se abordan reflexiones históricas, epistemológicas, o sociológicas del episodio. En el contexto pedagógico, por su parte, se reflexiona sobre los saberes didáctico-pedagógicos necesarios para que el profesor adquiera una visión crítica y transformadora de su práctica educativa. En la Tabla 2, se sintetizan algunos de los episodios históricos abordados en la investigación y las correspondientes temáticas discutidas en los diferentes contextos de análisis. Estos episodios y temáticas han sido diseñados en el marco de Trabajos de Investigación (Tesis) de los programas de Maestría en Educación, línea de Educación en Ciencias Naturales, y Maestría en Educación en Ciencias Naturales (Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia), y se han constituido en la base y fundamento para el re-diseño de algunos cursos en los programas de formación de profesores de ciencias de esta misma Universidad.

**Tabla 2. Ejemplos de episodios históricos y sus correspondientes contextos de análisis**

Episodios históricos (narrativas científicas)	Contexto disciplinar (problema de la experimentación)	Contexto de la NdC	Contexto pedagógico
Franklin (1747) y DuFay (1747). Las teorías de uno y dos fluidos sobre la electricidad, o de cómo puede haber diferentes explicaciones para los mismos fenómenos, siendo todas coherentes.	Diferentes explicaciones en relación con la organización del fenómeno eléctrico.	Relación entre teorización y experimentación. Rol de los elementos materiales (instrumentos) en la construcción del fenómeno eléctrico (Carga experimental de la teoría).	Indagación de las concepciones de profesores respecto a la actividad experimental.
Controversia Pascal-Noel en torno a la noción de vacío, o de cómo las concepciones y formación de los científicos determinan sus modos de observación y el desarrollo de sus ideas científicas.	Posturas explicativas en relación con la neumática.	Funciones de la experimentación en la construcción de explicaciones. Carácter (y poder) explicativo de las organizaciones conceptuales.	Valoración de las explicaciones de los estudiantes. Identificación de diversidad de explicaciones y argumentaciones de los estudiantes.
DuFay (1747) y el comportamiento dual de la electrificación, o de cómo las teorías científicas no son meras inducciones (Adecuación entre teorización y experimentación).	Reproducción y análisis de diferentes efectos asociados a la electrificación (atracción-repulsión). Diseño y construcción de indicadores.	Relación entre teorización y experimentación: Adecuación de las explicaciones a nuevas experiencias.	Nuevos énfasis en las actividades experimentales en la clase de ciencias. Producciones escritas y discurso oral de los participantes.

## A modo de conclusión

El estudio realizado acerca del rol de la experimentación en los procesos de formación de profesores permitió establecer que los discursos y prácticas de los profesores de física —de los programas de formación de profesores de ciencias seleccionados—, están estrechamente cercanos a la perspectiva clásica de la filosofía de las ciencias. En efecto, en los discursos y prácticas de enseñanza se logró establecer una sobrevaloración de la dimensión teórica sobre la dimensión experimental, a la vez que se considera el experimento como un simple verificador de los enunciados teóricos, o como una mera aplicación de ellos. Esta forma de asumir y abordar la relación teoría-experimento, en los programas de formación de profesores de ciencias, devela ciertas dificultades que, según los investigadores, es necesario intervenir. Como alternativa se plantea la generación de espacios de reflexión en los cuales se reconozca la interdependencia y complementariedad entre la teorización y la experimentación, y se estimule el desarrollo de procesos discursivos de construcción de explicaciones como fundamento de la construcción de conocimiento; en suma, una perspectiva de la experimentación que incorpore reflexiones acerca de la NDC, fundamentadas en una postura sociocultural de la dinámica científica.

Complementariamente, los análisis adelantados y los hallazgos obtenidos en esta investigación permiten afirmar que la inclusión de reflexiones acerca de la NDC en la formación de profesores no puede restringirse a alguno de los dos enfoques usualmente adoptados: el implícito o el explícito. Como se ha visto, la simple identificación de aspectos de la NDC con habilidades de indagación científica (enfoque implícito), puede ser tan poco adecuado como la idea que una meta-reflexión sobre las ciencias puede adelantarse sin analizar los contenidos disciplinares mismos (enfoque explícito).

A juicio de los investigadores, la presente propuesta de inclusión de reflexiones acerca de la NDC en la formación de profesores, se constituye en un escenario idóneo para que éstos hagan inteligibles los contenidos y los modelos explicativos de las ciencias, al tiempo que adquieren una mejor comprensión de las diversas preguntas, procedimientos, perspectivas epistemológicas y criterios de científicidad implicados en su construcción. En efecto, la selección y estudio de episodios históricos de tópicos de las ciencias (narrativas científicas), problematizados y contextualizados con los aportes de la historia, la filosofía y la sociología de las ciencias discutidos, no sólo permite fortalecer la comprensión de tópicos específicos del campo de la física (tales como los asociados a la interdependencia de la teorización y experimentación en la construcción de los fenómenos electrostáticos y neumáticos, y el rol fundamental de

los instrumentos en la fabricación de los efectos y hechos asociados), sino que —complementariamente— posibilita una mejor comprensión de la dinámica científica al dotarla de problemáticas, intenciones, estilos de pensamiento, contextos y motivaciones que hacen parte de la idiosincrasia de la empresa científica.

## **Lista de referencias**

- Acevedo-Díaz, J. A. (2008). El estado actual de la Naturaleza de las Ciencias en la didáctica de las Ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 5(2), 134-169.
- Adúriz-Bravo, A. (2005). *Una introducción a la Naturaleza de la ciencia: La epistemología en la enseñanza de las Ciencias Naturales*. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.
- Ayala, M. M. (enero-abril, 2006). Los análisis históricos críticos y la reconstrucción de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades. *Pro-Posições*, 17(49), 19-37.
- Bennássar, Á., Vázquez, A., Manassero, M. A., & García-Carmona, A. (2011) *Ciencia, tecnología y sociedad en Iberoamérica: una evaluación de la comprensión de la naturaleza de ciencia y tecnología*. Madrid: Centro de Altos Estudios Universitarios de la Organización de Estados Iberoamericanos.
- Dijk van, E. M. (2011). Portraying real science in science communication. *Science Education*, 95, 1086-1100.
- Dufay, C. F. (1747). *Quatrième Mémoire sur l'électricité. De l'Attraction & Répulsion des Corps Électriques* Recuperado de <http://www.ampere.cnrs.fr>
- Duschl, R. (1995). Más allá del conocimiento: Los desafíos epistemológicos y sociales de la enseñanza mediante el cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(1), 3-14.
- Erduran, S., Bravo, A. A., & Naaman, R. M. (2007). Developing epistemologically empowered teachers: Examining the role of Philosophy of Chemistry in teacher education. *Science & Education*, 16(9-10), 975-989.
- Ferreirós, J., & Ordóñez, J. (diciembre, 2002). Hacia una filosofía de la experimentación. *Crítica. Revista hispanoamericana de filosofía*, 34(102), 47-86.
- Franklin, A. (1986). *The neglect of experiment*. Nueva York: Cambridge University Press.
- Franklin, B. (1963). The One Fluid Theory of Electricity. En W. F. Magie (Ed.), *A source book in Physics* (pp. 400-402). Cambridge: Harvard University Press.

- Hacking, I. (1996). *Representar e intervenir* (Trad. S. F. Martínez). México: Universidad Nacional Autónoma de México/Paidós.
- Höttinger, D., & Silva, C. (2010). Why Implementing History and Philosophy in School Science Education is a challenge: An analysis of obstacles. *Science & Education*, 20(3-4), 293-316.
- Iglesias, M. (2004). El giro hacia la práctica en filosofía de la ciencia: Una nueva perspectiva de la actividad experimental. *Opción*, 20(44), 98-119.
- Khishfe, R., & Abd-El-Khalick, F. (septiembre, 2002). Influence of explicit and reflective versus implicit inquiry-oriented instruction on sixth graders' views of Nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(7), 551-578.
- Koponen, I., & Mäntylä, T. (2006). Generative role of experiments in Physics and in Teaching Physics: a suggestion for epistemological reconstruction. *Science & Education*, 15, 31-54.
- Latour, B. (Dir.) (1991). *La Science telle qu'elle se fait*. (Trad. G. Pineda). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Latour, B., & Woolgar, S. (1995). *La vida en el laboratorio. La construcción de los hechos científicos*. Madrid: Alianza.
- Malagón, F., Ayala, M., & Sandoval, S. (2011). *El experimento en el aula. Comprensión de fenomenologías y construcción de magnitudes*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Martins, R. A. (2006). Introdução: a história das ciências e seus usos na educação. En C. C. Silva (Coord.), *Estudos de história e filosofia das ciências* (pp. xvii-xxx). Brasil: Livraria da Física.
- Matthews, M. (1994). Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), 255-277.
- McComas, W. F. (2004). Keys to teaching the Nature of science: focusing on the nature of science in the science classroom. *Science Teacher*, 71(9), 24-27.
- McComas, W. F., & Kampourakis, K. (2015). Using the history of biology, chemistry, geology and physics to teach aspects of the Nature of science. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 9, 47-76.
- Moura, B. A., & Silva, C. C. (2013). A abordagem multicontextual da história da ciência na formação de professores de física: análise de um estudo de caso. En Universidad Autónoma de Barcelona (Ed.), *IX Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias* (pp. 336-348). Girona: Editor.
- Osborne, J., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R., & Duschl, R. (2003). What "ideas-about-science" should be taught in school science? A delphi study of the expert community. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(7), 692-720.

- Pickering, A. (1995). *The mangle of practice. Time, agency and science*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Piñuel, J.L. (2002). Epistemología, metodología y técnicas de contenido. *Estudios de Sociolingüística*, 3(1), 1-42.
- Rodríguez, O., & Romero, A. (1999). La construcción de la historicidad de las ciencias y la transformación de las prácticas pedagógicas. *Física y Cultura: Cuadernos sobre historia y enseñanza de las Ciencias*, 6, 3-20.
- Romero, A. (2013). La experimentación como potenciadora de reflexiones sobre la Naturaleza de las ciencias. En F. Malagón, M. Ayala & S. Sandoval, *El experimento en el aula. Comprensión de fenomenologías y construcción de magnitudes* (pp. 39-55). Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Romero, A., & Aguilar, Y. (2013). *La experimentación y el desarrollo del pensamiento físico. Un análisis histórico y epistemológico con fines didácticos*. Colombia: Universidad de Antioquia.
- Romero, A., & Amelines, P. (en revisión). La experimentación en el aula. Aportes de la Naturaleza de las ciencias. *Magis, Revista Internacional de Investigación en Educación*.
- Rudge, D., Cassidy, D., Fulford, J., & Howe, E. (2014). Changes observed in views of Nature of science during a historically based unit. *Science & Education*, 23(9), 1879-1909.
- Shapin, S. (1991). Una bomba circunstancial. La tecnología literaria de Boyle. En M. Callon, S. Shapin & S. Shaffer (Eds.), *Leviathan and the Air-Pump: Hobbes, Boyle, and the experimental life* (Trad. G. Pineda) (pp. 22-79). Nueva Jersey: Princeton University Press.
- Simó, J., García, A., & Bertomeu, J. (2005). Instrumentos y prácticas de enseñanza de las ciencias físicas y químicas en la Universidad de Valencia, durante el siglo XIX. *ENDOXA: Series Filosóficas*, 19, 59-121.
- Stake, R. E. (2005). *Investigación con estudios de casos*. Madrid: Morata.
- Tamayo, O., Sánchez, C., & Buriticá, O. (2010). Concepciones de Naturaleza de la ciencia en profesores de educación básica. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 6(1), 133-169.
- Ubaque, K. (2009). Experimento: una herramienta fundamental para la enseñanza de la física. *Revista Góndola*, 4(1), 35-40.

## ANEXO

### Cuestionario de indagación de concepciones sobre la relación teorización-experimentación

1. Describa una actividad experimental que haya realizado con sus estudiantes sobre algún tema específico. Incluya en esta descripción aspectos como: metodología, propósitos, estrategias de evaluación.
2. Enumere de 1 a 10 las siguientes opciones según su grado de prioridad (siendo 1 el más alto), de acuerdo con la intencionalidad que usted asigna a la actividad experimental sobre un tema o contenido específico:

Incrementar el aprendizaje del contenido disciplinar.
Demostrar o corroborar la validez de los enunciados teóricos que ha enseñado.
Posibilitar la comprensión del conocimiento disciplinar que enseña.
Familiarizar al estudiante con las destrezas propias para el trabajo en el laboratorio.
Iniciar al estudiante en técnicas de manipulación de instrumentos y medición de magnitudes.
Favorecer el ambiente en el aula y motivar a los estudiantes.
Ampliar la comprensión de la actividad científica.
Favorecer la construcción conceptual y reflexión teórica.
Resaltar la relación complementaria entre la experimentación y la teorización.
Otro:

- 3 ¿En qué momento realiza las actividades experimentales en el desarrollo de las temáticas disciplinares que está enseñando?

Antes de la explicación teórica.
Simultáneamente con la explicación teórica.
Después de la explicación teórica.

4. Enumere de 1 a 8 las siguientes opciones según su grado de prioridad (siendo 1 el más alto), de acuerdo al rol que usted considera desempeñan los instrumentos en el desarrollo de las actividades experimentales:

Orientar los procesos de organización de la experiencia.
Posibilitar la comprensión sobre la construcción de magnitudes y formas de medida.
Desarrollar la habilidad para su manipulación.
Posibilitar la enseñanza de algunas técnicas de laboratorio.
Viabilizar la comprensión sobre los procesos de formación de conceptos en relación el contenido disciplinar que enseña.
Posibilitar las mediciones de magnitudes físicas y toma de datos cuantitativos.
Analizar la forma como se asume y practica la actividad científica a lo largo de la historia.
Descubrir los fenómenos que se encuentran en la naturaleza.
Otro:

5. ¿Cuáles de los siguientes enunciados considera usted que se corresponden a la actividad científica?<sup>3</sup>

Los científicos emplean la actividad experimental para verificar sus explicaciones, ya que consideran que una idea que no se verifica experimentalmente no sirve.
Las teorías orientan e interpretan las observaciones de los científicos, estableciendo lo que se puede "ver".
La teoría y el experimento interactúan recíprocamente. Así como existe una "carga teórica del experimento", podemos afirmar que se da una "carga experimental de la teoría".
Cualquier investigación científica siempre parte de conocimientos teóricos para sólo después realizar los controles experimentales.
Cuando dos científicos observan los mismos datos, ellos deben llegar obligatoriamente a las mismas conclusiones.
El conocimiento científico parte de la observación y de los experimentos para, posteriormente, elaborar leyes y principios.
Cuando dos científicos tienen la misma formación y conocimientos, ellos perciben los mismos datos y/o hechos.
Todo conocimiento resulta de la obtención sistemática y cuidadosa de evidencias experimentales.
En la dinámica científica se conjuga la actividad teórica y la experimental para la construcción del conocimiento.

3. Algunas de las opciones han sido adaptadas de Tamayo, Sánchez y Buriticá (2010).

### Protocolo de entrevista semiestructurada

1. En los cursos que usted dirige, ¿considera que los estudiantes primero deben ver la teoría y luego realizar la actividad experimental? (Sí o No. Justifique su respuesta)
2. ¿Qué intencionalidades y características particulares considera usted que deben tener las prácticas experimentales propuestas e implementadas en cursos de formación de profesores de ciencias?
3. ¿Considera que existen semejanzas (o contradicciones) en asumir la experimentación como la “aplicación de leyes” a solución de problemas Vs la experimentación como espacio de reflexión conceptual? (Sí o No. Justifique su respuesta)
4. ¿Qué relaciones establece entre la teoría y la experimentación?
5. Si considera fundamental la idea de una relación inseparable entre teoría y experimentación, ¿cuál(es) sería(n) la(s) forma(s) adecuadas de evaluar tal relación en las actividades de aula?