



Editorial Universidad de Antioquia

# La experimentación en la clase de ciencias

Aportes para una enseñanza  
de las ciencias contextualizada  
con reflexiones metacientíficas

Ángel Enrique Romero-Chacón  
—editor académico—

Carolina Morcillo Molina  
Edwin Germán García Arteaga  
Érika Tobón Cardona  
Jaime Antonio Quinto Moya  
Luz Stella Mejía Aristizábal  
Paula Andrea Amelines Rico  
Yaneth Lilibiana Giraldo Suárez  
Yirsen Aguilar Mosquera



Investigación / Educación



**La experimentación  
en la clase de ciencias**

**Aportes a una enseñanza  
de las ciencias contextualizada  
con reflexiones metacientíficas**



# **La experimentación en la clase de ciencias**

**Aportes a una enseñanza  
de las ciencias contextualizada  
con reflexiones metacientíficas**

Ángel Enrique Romero-Chacón  
—editor académico—

Carolina Morcillo Molina  
Edwin Germán García Arteaga  
Érika Tobón Cardona  
Jaime Antonio Quinto Moya  
Luz Stella Mejía Aristizábal  
Paula Andrea Amelines Rico  
Yaneth Liliana Giraldo Suárez  
Yirsén Aguilar Mosquera

Colección *Investigación / Educación*

© Ángel Enrique Romero-Chacón, Carolina Morcillo Molina, Edwin Germán García Arteaga, Érika Tobón Cardona, Jaime Antonio Quinto Moya, Luz Stella Mejía Aristizábal, Paula Andrea Amelines Rico, Yaneth Lilibiana Giraldo Suárez, Yirsén Aguilar Mosquera  
© Editorial Universidad de Antioquia®

ISBNe: 978-958-714-741-4

Primera edición: abril de 2017

Diagramación interior: Luisa Fernanda Bernal Bernal, Imprenta Universidad de Antioquia  
Diagramación de cubierta: Carolina Velásquez Valencia, Imprenta Universidad de Antioquia  
Corrección de texto: Juan Felipe Forero Bocanegra  
Coordinación editorial: Silvia García Sierra  
Hecho en Colombia / Made in Colombia

Editorial Universidad de Antioquia®

Teléfono: (574) 219 50 10. Telefax: (574) 219 10 57

Correo electrónico: [editorial@udea.edu.co](mailto:editorial@udea.edu.co)

Página web: <http://editorial.udea.edu.co>

Apartado 1226. Medellín. Colombia

El contenido de la obra corresponde al derecho de expresión del autor y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. El autor asume la responsabilidad por los derechos de autor y conexos contenidos en la obra, así como por la eventual información sensible publicada en ella.

Esta obra hace parte del grupo de textos seleccionados en la Convocatoria de publicación de libros derivados de procesos de investigación en la Universidad de Antioquia, un proyecto de la Editorial Universidad de Antioquia para apoyar la difusión de la investigación universitaria. La investigación en la que se basa fue desarrollada por los autores en calidad de miembros del grupo de Estudios Culturales sobre las Ciencias y su Enseñanza —ECCE— de la Facultad de Educación de la Universidad de Antioquia, calle 70, N.º 52-21, Medellín, Colombia.

La experimentación en la clase de ciencias. Aportes para una enseñanza de las ciencias contextualizada con reflexiones metacientíficas / Ángel Enrique Romero-Chacón, editor académico. -- Medellín: Editorial Universidad de Antioquia; 2017.

xx, 98 páginas. -- (Colección Investigación / Ciencias Naturales)

Incluye bibliografía

ISBN: 978-958-714-741-4 (versión electrónica)

1. Ciencias – Experimentos- Estudio y enseñanza. 2. Ciencia – Metodología. 3. Formación de profesores de ciencias. 4. Ciencia – Filosofía.

I. Título. II. Serie

LC Q182.3

507.8-dc23

Catalogación en publicación de la Biblioteca Carlos Gaviria Díaz

# Contenido

<b>Los autores</b> .....	xi
<b>Introducción</b> .....	xiii
<b>Capítulo 1. Naturaleza de las ciencias y formación de profesores.</b>	
<b>El caso de la experimentación</b> .....	<b>1</b>
Introducción .....	1
La experimentación en la formación de profesores .....	3
Aportes de reflexiones acerca de la naturaleza de las ciencias en torno a la experimentación .....	4
La interdependencia entre la dimensión teórica y la dimensión experimental.....	4
El papel del instrumento en la fabricación de efectos y hechos científicos .....	6
El rol del instrumento en los procesos de medición .....	8
Episodios históricos y su (re)contextualización. Una propuesta de inclusión de reflexiones acerca de la Naturaleza de las Ciencias.....	9
Notas .....	13
Referencias bibliográficas .....	13
<b>Capítulo 2. La experimentación en el aula. Aportes de la naturaleza de las ciencias</b> .....	<b>15</b>
Introducción .....	15
Referentes teóricos y conceptuales.....	16
Sobre la relación teorización-experimentación en la dinámica científica.....	16
Sobre el papel de los instrumentos en la construcción de conocimiento .....	18
Aspectos metodológicos .....	21

Hallazgos y discusiones .....	24
Relación teorización-experimentación en la dinámica científica.....	24
Papel de los instrumentos en la construcción del conocimiento	26
Conclusiones. Potencialidades de la propuesta .....	28
Referencias bibliográficas.....	30
<b>Capítulo 3. Los análisis históricos y epistemológicos en la enseñanza de las ciencias. Una reflexión centrada en la experimentación sobre los fenómenos cromáticos.....</b>	<b>32</b>
Introducción .....	32
Sobre la construcción de los fenómenos cromáticos .....	34
La construcción de los fenómenos cromáticos desde Goethe .....	35
Visión y naturaleza .....	36
El color como contraste entre claridad-oscuridad.....	37
Principios asociados a la percepción del color.....	39
La experimentación como generadora de conocimiento.....	41
Formas de ver y su historicidad.....	43
El uso del análisis histórico y epistemológico sobre los fenómenos cromáticos en la enseñanza de las ciencias. Una propuesta pedagógica.....	46
Ruta metodológica.....	47
Hallazgos y discusión.....	48
Visión y naturaleza .....	48
Experimentación como generadora de conocimiento.....	52
El uso de los análisis históricos y epistemológicos en la enseñanza de las ciencias.....	53
A modo de conclusión.....	55
Notas .....	55
Referencias bibliográficas.....	56
<b>Capítulo 4. La medición como medio para la construcción social de conocimiento en el aula.....</b>	<b>57</b>
Introducción .....	57
Referentes teóricos.....	58
El carácter discursivo de la actividad experimental.....	58
Los procesos de medida de las propiedades físicas desde las perspectivas de N. Campbell y P. Duhem.....	60
El instrumento de medida como reificación de la organización del fenómeno.....	62
Ruta metodológica de la investigación.....	64



La medición como medio para la construcción social de conocimiento en el aula. Una propuesta didáctica.....	65
Hallazgos y discusión.....	68
Clasificación y ordenación como base del proceso de medida..	68
Uso y adecuación de representaciones .....	69
El instrumento como concreción de la organización del fenómeno.....	70
La experimentación como espacio de reflexión y construcción de explicaciones.....	73
La experimentación como escenario de construcción social de fenomenologías.....	74
Conclusiones .....	76
Nota .....	77
Referencias bibliográficas.....	77

## **Capítulo 5. Actividad histórico-experimental en microbiología**

<b>para la enseñanza de las ciencias.....</b>	<b>79</b>
Introducción .....	79
El sentido histórico de la experimentación .....	80
La actividad experimental en el proceso de formación de profesores .....	81
La actividad experimental en las ciencias biológicas (microbiología).....	82
Historia de las ciencias, historia de la microbiología .....	83
Análisis histórico de los microorganismos en la fermentación..	84
Actividad experimental sobre microorganismos en la fermentación en Pasteur .....	86
Descripción del diseño material e instrumental.....	87
Actividad experimental con diferentes muestras.....	89
Implicaciones para la enseñanza de la microbiología.....	92
Los objetivos.....	92
Los procesos epistemológicos.....	93
Los criterios.....	93
Los núcleos temáticos .....	94
Modelo de la propuesta .....	94
A manera de conclusión.....	96
Referencias bibliográficas.....	97



## Los autores

### **Ángel Enrique Romero-Chacón**

Magíster en Docencia de la Física y doctor en Epistemología e Historia de las Ciencias y las Técnicas. Profesor Investigador, Facultad de Educación, Universidad de Antioquia. Coordinador grupo de Estudios Culturales sobre las Ciencias y su Enseñanza.

### **Carolina Morcillo Molina**

Licenciada en Educación Básica, énfasis en Ciencias Naturales y Educación Ambiental.

### **Edwin Germán García Arteaga**

Magíster en Docencia de la Física y doctor en Didáctica de las Matemáticas y las Ciencias Experimentales. Profesor Instituto de Pedagogía, Universidad del Valle.

### **Érika Tobón Cardona**

Licenciada en Matemáticas y Física; magíster en Educación en Ciencias Naturales. Profesora de cátedra, Facultad de Educación, Universidad de Antioquia.

### **Jaime Antonio Quinto Moya**

Licenciado en Química y Biología; magíster en Educación en Ciencias Naturales. Profesor de cátedra, Facultad de Educación, Universidad de Antioquia.

### **Luz Stella Mejía Aristizábal**

Magíster en Educación, línea Educación en Ciencias Experimentales, Doctora en Educación. Profesora catedrática. Universidad de Antioquia, Facultad de Educación.

**Paula Andrea Amelines Rico**

Licenciada en Educación Básica, énfasis en Ciencias Naturales y Educación Ambiental; magíster en Educación, línea Educación en Ciencias Naturales.

**Yaneth Liliana Giraldo Suárez**

Licenciada en Matemáticas y Física; magíster en Educación, línea Educación en Ciencias Naturales. Profesora de cátedra, Facultad de Educación, Universidad de Antioquia.

**Yirsen Aguilar Mosquera**

Magíster en Educación, línea Educación en Ciencias Experimentales. Profesor de cátedra, Facultad de Educación, Universidad de Antioquia.

## Introducción

El presente texto recoge parte de los resultados y hallazgos de la investigación titulada “La experimentación y los procesos de formación de profesores de ciencias naturales”, desarrollada entre el 2013 y el 2015 por el grupo de Estudios Culturales sobre las Ciencias y su Enseñanza —ECCE— de la Universidad de Antioquia (Medellín, Colombia), con el apoyo del Comité para el Desarrollo de la Investigación —CODI—.

Asumiendo como referente una mirada sociocultural de la generación y el desarrollo del conocimiento científico, la investigación tuvo como propósito general fundamentar propuestas de enseñanza de las ciencias para la formación de profesores, que aborden la problemática de la experimentación contextualizada con reflexiones metacientíficas. En este sentido, sus objetivos fueron: i) caracterizar las prácticas y discursos de los profesores de física en los programas de formación de profesores de ciencia 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 los modos de asumir la ciencia y su enseñanza, en estrecha relación con reflexiones surgidas de la historia, la filosofía y la sociología de las ciencias.

La investigación se realizó en cuatro fases: i) *fundamentación teórica discursiva*, en la que se realizó un análisis documental tanto de las reflexiones surgidas de la historia, la filosofía y la sociología de las ciencias en torno a la experimentación como del enfoque de la enseñanza en ciencias que resalta la indagación histórica y epistemológica con fines pedagógicos. Este análisis documental posibilitó la construcción de una red de categorías que sirvieron de fundamento para

las propuestas pedagógicas por medio de las cuales se organizaron e interpretaron los discursos de los profesores —o estudiantes— que participaron en las implementaciones. ii) *Diseño e implementación de las propuestas pedagógicas* a partir de dicha fundamentación teórica discursiva, cuyo propósito es la vinculación de reflexiones acerca de la Naturaleza de las Ciencias —NdC— en la formación de profesores. iii) *Caracterización de las formas de uso y discursos relacionados con la experimentación en los procesos de formación de profesores de ciencias*, en la que se interpretaron las informaciones y producciones escritas y orales de los participantes, recolectadas por medio de ciertos instrumentos. iv) *Sistematización de hallazgos y construcción del informe final*, los cuales permitieron 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 Naturaleza de las Ciencias —NdC—.

Para la construcción de la fundamentación teórica discursiva, así como para el diseño de las propuestas pedagógicas, el equipo de investigación asumió el enfoque de los estudios histórico-críticos de las ciencias con fines pedagógicos. Como lo señalan Ayala (2006) y Romero y Aguilar (2013), esta clase de estudios se constituye en procesos de recontextualización de prácticas y saberes científicos con el propósito de que puedan ser pertinente y adecuadamente abordados en los contextos escolares. En este sentido, este enfoque privilegia reflexiones surgidas de la historia, la filosofía y la sociología de las ciencias como ejes articuladores para la comprensión y el análisis de los principales paradigmas del conocimiento científico y como fuente para la construcción de alternativas pedagógicas para su enseñanza y aprendizaje.

Es preciso aclarar que con esta particular forma de inclusión de las reflexiones metacientíficas en la educación no se pretende cambiar los cursos de ciencias por cursos de historia, filosofía o sociología de las ciencias, ni llevar a la clase de ciencias las temáticas y polémicas centrales de estas disciplinas. Más que eso, su inclusión tiene como propósito considerar la clase de ciencias como un escenario en el que es posible familiarizar a los futuros profesores —y en general a los estudiantes— con las tradiciones de la cultura científica, es decir, con los diferentes contenidos, modelos explicativos, discursos y dinámicas de estas disciplinas, a la vez que se promueve la constitución de una

mirada crítica frente a ellas. Así, desde esta perspectiva, la historia, la filosofía y la sociología de las ciencias dejan de considerarse un referente externo en la formación de profesores para convertirse en ramas del saber que contribuyen sustancialmente a su formación como sujetos culturales por cuanto, además de permitir dilucidar la naturaleza y la estructura de las narraciones que llamamos científicas, proveen las condiciones para vincularlos a los procesos de construcción de significados y de sentidos necesarios para incidir en la constitución de un futuro más aceptable para nuestra sociedad (Romero y Aguilar, 2013).

En particular, los análisis adelantados en la investigación, que a su vez constituyen los hallazgos y resultados de esta, presentados en los diferentes capítulos, consisten en el estudio de algunos episodios históricos, problematizados a través de ciertos contextos de análisis. Los episodios históricos corresponden a una serie de textos y fragmentos de narrativas científicas, extraídos de textos de primera fuente, cuyo contenido gira en torno a la experimentación como fuente de conocimiento, y seleccionados asimismo de forma que presenten diversas interpretaciones y explicaciones —algunas veces polémicas entre sí— acerca de algunos tópicos científicos particulares. Los contextos de análisis, por su parte, lo conforman el *contexto disciplinar*, o dimensión en la que se analizan los contenidos científicos que presenta el episodio; el *contexto de la NdC*, en el cual se abordan diversas reflexiones históricas, filosóficas o sociológicas del episodio; y el *contexto pedagógico*, en el cual se discute sobre los saberes didáctico-pedagógicos necesarios para que los profesores adquieran una visión crítica y transformadora de su práctica educativa en la enseñanza de las ciencias. La opción por un análisis de textos y fragmentos de primera fuente obedece a la convicción de que un acercamiento y una reflexión sobre sus contenidos y sus formas de presentación posibilitan una mejor comprensión de los saberes científicos, a la vez que favorecen el reconocimiento del carácter social y cultural de la actividad científica, aspectos que sin duda redundan positivamente en los procesos de enseñanza.

Para el desarrollo de la implementación de las propuestas pedagógicas diseñadas y la caracterización de las formas de uso y discursos de los participantes (profesores o estudiantes), se asumió una perspectiva cualitativo-interpretativa, dentro de la cual se privilegió el análisis documental y el estudio de caso como estrategia metodológica (Stake,

2010). Se consideró pertinente este enfoque metodológico en la medida en que el proyecto propone, por una parte, construir una perspectiva conceptual que articule reflexiones metacientíficas en el análisis y abordaje de las actividades experimentales y, por otra parte, diseñar e implementar propuestas pedagógicas particulares a partir de las cuales se posibilite la inclusión de tales reflexiones en los programas de formación de profesores de ciencias. Asumiendo, como lo hacen otras investigaciones de carácter interpretativo, que los presupuestos, las perspectivas y los saberes de los individuos se expresan de algún modo en sus representaciones externas, este estudio privilegió el análisis cualitativo de contenido (Piñuel, 2002), cuyo propósito es desentrañar algunos significados, posturas, tensiones, consensos y disensos de los participantes en el trascurso de cada implementación, con base en los registros y documentos que recogen su producción escrita y oral. La elección de analizar los documentos escritos y orales de aquello que se comunica parte de considerarlos materiales poco reactivos; no obstante, apartándonos de visiones positivistas, admitimos que se trata de la construcción social del objeto de estudio que no está exenta de nuestras posturas epistemológicas como investigadores. Para la interpretación de los enunciados de los participantes en cada una de las implementaciones de las propuestas pedagógicas se diseñaron algunos indicios observables en las unidades de registro seleccionadas, consideradas estas como enunciados o secuencias de enunciados de los participantes (Latour y Woolgar, 1995).

Los análisis histórico-críticos adelantados y los hallazgos de las propuestas pedagógicas diseñadas e implementadas contribuyen a superar las clásicas perspectivas inductiva y deductiva sobre las cuales están estructurados los cursos de ciencias del currículo actual en los programas de formación de profesores, y favorecen la construcción de imágenes contemporáneas del desarrollo del conocimiento científico. En particular, estos análisis y hallazgos permiten afirmar que una perspectiva de la experimentación en la clase de ciencias fundamentada en una mirada sociocultural de la construcción del conocimiento científico se convierte en un espacio propicio para poner en relación los procesos epistémicos inherentes a enseñar a hacer ciencias —proponer, defender, negociar, validar y compartir significados y representaciones— y aquellos concernientes a enseñar sobre las ciencias —provisionalidad, dialéctica de la relación teoría-experi-



mento—. Complementariamente, posibilitan mostrar cómo la inclusión de reflexiones acerca de la NdC en la formación de profesores se constituye en un escenario idóneo para que estos hagan inteligibles los contenidos y los modelos explicativos de las ciencias, al tiempo que adquieran una mejor comprensión de las diversas preguntas, procedimientos, perspectivas epistemológicas y criterios implicados en su construcción.

En el capítulo 1 se discuten los fundamentos teóricos generales de la investigación, tomando como base de análisis algunas consideraciones y debates acerca de la NdC surgidos de reflexiones de la historia, la filosofía y la sociología de las ciencias. Se discuten, en particular, algunos aportes y reflexiones acerca de la NdC que contribuyen a consolidar una perspectiva de la relación entre la teoría y la experimentación acorde con una mirada sociocultural tanto de la actividad científica como de su enseñanza. Tales aportes son aquellos relacionados con la interdependencia y complementariedad entre la dimensión teórica y la dimensión experimental, el papel del instrumento en la fabricación de efectos y hechos científicos, así como su rol en los procesos de medición. Tomando como referente estas reflexiones, se presentan los fundamentos de una propuesta de inclusión de reflexiones acerca de la NdC en las clases, la cual es consistente en la selección y estudio de algunos episodios históricos de tópicos y contenidos científicos, problematizados a la luz de ciertos contextos de análisis.

En el capítulo 2 se presentan los fundamentos metodológicos y las contribuciones pedagógicas de una propuesta cuyo propósito es vincular las reflexiones acerca de la NdC en la formación de profesores, a partir del análisis de ciertos episodios históricos alrededor del rol de la experimentación en los procesos de construcción de conocimiento. La propuesta surge de un trabajo de investigación (tesis) del programa de Maestría en Educación, línea de Educación en Ciencias Naturales, adscrito a la Facultad de Educación de la Universidad de Antioquia (Medellín, Colombia), y centra su análisis en reflexiones sobre la relación teorización-experimentación y el papel de los instrumentos en la construcción de conocimiento sobre diferentes interpretaciones vinculadas a la organización de los fenómenos electrostáticos. Se discute en particular la reproducción y el análisis de los efectos asociados a la electrificación (atracción y repulsión) y la construcción y el uso de instrumentos para la fabricación de tales efectos. En la implementación

de la propuesta, se adelantó un estudio de caso de tipo cualitativo-interpretativo de los enunciados del grupo de profesores participantes en la investigación. El análisis adelantado permitió identificar y caracterizar formas alternativas de comprender el rol de la experimentación en la clase, coherentes con una perspectiva sociocultural de las ciencias y de su enseñanza.

En el capítulo 3 se presenta la problemática de la selección de contenidos a enseñar en la clase de ciencias y el papel del sujeto (maestro) en dicha selección. Como forma alternativa de abordar y dar respuesta a esta problemática, se discuten algunos aportes y fundamentos del uso de los análisis históricos y epistemológicos en la enseñanza de las ciencias, a través del caso de la construcción de los fenómenos relativos al color. Tales aportes y fundamentos se desarrollaron en un trabajo de investigación (tesis) del programa de Maestría en Educación en Ciencias Naturales, adscrito a la Facultad de Educación de la Universidad de Antioquia (Medellín, Colombia). En particular, se presenta un estudio histórico y epistemológico de la perspectiva goetheana de los fenómenos cromáticos, analizado a la luz de los siguientes aspectos: la construcción de los fenómenos cromáticos, la experimentación como generadora de conocimiento y las formas de ver y su historicidad. El estudio es ejemplificado con una serie de talleres y actividades que configuran la propuesta pedagógica diseñada, y se discuten algunos de los hallazgos de su implementación en el contexto de la formación inicial de profesores de ciencias. Finalmente, se esbozan algunas implicaciones pedagógicas que destacan las potencialidades del uso de los análisis históricos y epistemológicos en la enseñanza de las ciencias.

En el capítulo 4 se adelanta una propuesta de enseñanza de las ciencias, dirigida al nivel básico y medio, diseñada y fundamentada en dos trabajos de investigación (tesis) de los programas de Maestría en Educación, línea de Educación en Ciencias Naturales, y Maestría en Educación en Ciencias Naturales de la Facultad de Educación de la Universidad de Antioquia (Medellín, Colombia). En el texto se presentan los fundamentos de las actividades de aula propuestas como resultado de un análisis histórico-crítico de algunos episodios históricos y de textos de primera fuente, que abordan el problema de la organización de los fenómenos térmicos y de la flotabilidad de los cuerpos, así como la construcción y la formalización de las magnitudes físicas asociadas. Se privilegió en este análisis el rol asignado al instrumento como par-

te constitutiva de la organización de los fenómenos en consideración y de los procesos de construcción y formalización de magnitudes como la temperatura y el peso específico. Finalmente, se presentan algunas contribuciones para la enseñanza de la física que tiene esta propuesta, inspirada en el uso de los análisis histórico-críticos, y que asume la experimentación en la clase como escenario para la construcción social de conocimiento científico en el aula.

En el capítulo 5 se presentan los fundamentos de una propuesta de enseñanza de la microbiología, basada en reflexiones de la filosofía de las ciencias, en particular aquellas de la filosofía de las prácticas experimentales, dirigida a la formación inicial de profesores. La propuesta surgió en el marco de un trabajo de grado del programa de Licenciatura en Ciencias Naturales adscrito al Instituto de Pedagogía de la Universidad del Valle (Cali, Colombia), y centra su reflexión en el análisis del fenómeno de la fermentación, en la actividad experimental sobre los microorganismos asociados a la producción de este fenómeno y en sus implicaciones en la enseñanza.

Es de resaltar que la lectura del libro no implica linealidad de los capítulos; por el contrario, el lector podrá elegir el texto que le interese o la secuencia en que quiera hacer su lectura, dado que cada capítulo da cuenta del referencial teórico que lo sustenta, los aspectos metodológicos de la investigación, así como los asuntos pedagógicos implicados en las propuestas.

### Referencias bibliográficas

- Ayala, M. M. (2006). Los análisis históricos críticos y la reconstrucción de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades. *Posições*, 17(49), 19-37.
- Latour, B. y Woolgar, S. (1995). *La vida en el laboratorio. La construcción de los hechos científicos*. Madrid: Alianza.
- Piñuel, J. L. (2002). Epistemología, metodología y técnicas de contenido. *Estudios de Sociolingüística*, 3(1), 1-42.
- Romero, Á. y Aguilar, Y. (2013). *La experimentación y el desarrollo del pensamiento físico. Un análisis histórico y epistemológico con fines didácticos*. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.
- Stake, R. E. (2010). *Investigación con estudio de casos*. Madrid: Morata.



# Capítulo 1

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

Ángel Enrique Romero-Chacón  
Yirsén Aguilar Mosquera  
Luz Stella Mejía Aristizábal

### Introducción<sup>1</sup>

Los retos que impone el mundo actual exigen una reorientación de los programas de formación de profesores —inicial y posgraduada— hacia perspectivas que permitan comprender e interpretar las nuevas dinámicas impuestas por la ciencia, la tecnología y su relación con asuntos sociales y contextuales. 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 enseñan-

za? Para dar respuesta a esta cuestión es preciso percatarse de que según el modo como se comprenda y asuma el conocimiento (la ciencia en nuestro caso) se establecen modos e intenciones particulares de enseñarlo. Complementariamente, es mediante su enseñanza como se hacen explícitas las formas particulares de significar la ciencia. Y es precisamente esta estrecha relación entre el saber y la educación lo que pone en evidencia que es por medio de la actividad de enseñar la ciencia como se pueden propiciar cambios en la forma de significarla.

Estas consideraciones contrastan con el reiterado llamado a la comunidad de profesores sobre la necesidad de construir

y fortalecer criterios de análisis (disciplinar y metadisciplinar) que propicien en ellos la selección, el diseño y la implementación de temáticas alternativas, que contribuyan a superar el letargo y la obsolescencia característicos de la enseñanza en los diferentes niveles (Duschl, 1995; Ayala, 2006). 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 y Romero, 1999). En el marco de este contexto, se ha empezado a instaurar el término Naturaleza de las Ciencias (NdC en adelante). Aunque polisémica, esta expresión hace alusión a un metaconocimiento de la ciencia, nutrido de reflexiones interdisciplinarias de la filosofía, la historia y la sociología, que aborda cuestiones como: ¿qué es la ciencia? ¿Cómo se diferencia de otras actividades humanas? ¿Cómo se construye, se valida y se difunde el conocimiento que produce? ¿Cuáles son los valores implicados en esta actividad y sus relaciones con la sociedad? (McComas, 2004; Acevedo-Díaz, 2008).

Se afirma que, en el ámbito de la formación de profesores, una adecuada comprensión de la NdC tiene beneficios como los enumerados a continuación: i) es necesaria para apreciar su valor (sus alcances y sus límites) como dimensión cultural; ii) se constituye en una producción intelectual valiosa, que debería formar parte de la formación integral de los ciudadanos como requisito para tomar

decisiones informadas sobre cuestiones tecnocientíficas de interés social; iii) genera ideas, materiales, recursos, enfoques y textos para diseñar y mejorar la enseñanza y el aprendizaje; y iv) facilita la estructuración de currículos porque permite identificar modelos fundamentales de cada disciplina (Matthews, 1994; Osborne *et al.*, 2003; Adúriz-Bravo, 2005).

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 multidisciplinar (Acevedo-Díaz, 2008); ii) la carencia de estas reflexiones en la formación del profesorado (Höttecke y 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 ramas del conocimiento (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, 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 se significan y funcionan en disciplinas específicas, tal

como es el caso de la biología (McComas y Kampourakis, 2015) o de la química (Erduran, Bravo y Naaman, 2007). En línea con Erduran, Bravo y Naaman, 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 una mejor comprensión de su dinámica por parte de los profesores de ciencias, a la vez que posibilitan la elaboración de una imagen sociohistórica de la construcción del 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 él, ¿cuál perspectiva acerca de la NdC y qué forma de abordar sus cuestiones son adecuadas 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).

### **La experimentación en la formación de profesores**

Como alternativa para abordar estas problemáticas, se presentan algunos funda-

mentos de una propuesta de enseñanza de las ciencias dirigida a profesores en formación, focalizada en la experimentación y contextualizada con reflexiones acerca de la NdC. El rol de la experimentación en la formación de profesores 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 por su modo de significarla, el cual 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 y Ordóñez, 2002; Romero y Aguilar, 2013), las implicaciones que estas perspectivas puedan llegar a tener en la enseñanza de las ciencias, y en particular de la física, apenas comienzan a ser objeto de análisis y reflexión.

Los análisis conceptuales realizados y las orientaciones pedagógicas diseñadas e implementadas en esta investigación permiten afirmar que una perspectiva de la experimentación en la clase de ciencias fundamentada en una mirada sociocultural sobre la construcción de conocimiento científico se convierte en un espacio propicio para poner en relación los procesos epistémicos inherentes a enseñar a hacer ciencias —proponer, defender, negociar, validar y compartir significados y representaciones— y aque-

llos concernientes a enseñar sobre las ciencias —provisionalidad, dialéctica de la relación teoría-experimento—. Como lo resaltan algunos autores (Malagón, 2002; García, 2011), incentivar la construcción de explicaciones a fenómenos físicos en el marco de actividades experimentales encierra necesariamente procesos discursivos en relación con lo que se quiere “observar”, lo que se “percibe”, lo que se nombra como “hecho” y lo que se pretende “representar” con ese hecho. En estos procesos, el rol del lenguaje es primordial, en la medida en que permite llenar de significado la experimentación. En particular, llevar a la clase de ciencias la relación entre la experimentación y los procesos argumentativos y dialógicos visibiliza reflexiones en torno al carácter sociocultural de la construcción del conocimiento, en la medida en que, además de posibilitar a los estudiantes su participación en la actividad de aislar regularidades (fenomenologías) y construir simbologías, permite centrar la atención en la comunicabilidad de tal elaboración, aspectos estos que solo se obtendrán si es posible llegar a una serie de acuerdos y consensos en lo que se percibe en determinadas circunstancias de la construcción del fenómeno (Romero y Aguilar, 2013). En suma, a través de esta puesta en relación se favorecen debates, consensos, disensos y justificaciones que, en conjunto, permiten una mejor comprensión de los conceptos científicos y la formación de un pensamiento crítico y reflexivo.

### **Aportes de reflexiones acerca de la naturaleza de las ciencias en torno a la experimentación**

Tomando como base del análisis el hecho de que el modo de significar la relación entre la teoría y la experimentación y la forma de implementarla en la clase de ciencias son subsidiarios de una manera particular de asumir la naturaleza de la actividad científica, se presentan a continuación algunos aportes de aspectos concernientes a la NdC surgidos de reflexiones de la historia, la filosofía y la sociología, que sin duda contribuyen a consolidar una perspectiva en torno a la relación entre la teoría y la experimentación acorde con una mirada sociocultural tanto de la actividad científica como de su enseñanza.<sup>2</sup>

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

Recientes estudios históricos y filosóficos de las ciencias han revalorado la importancia que tiene la experimentación en la constitución y el desarrollo de la actividad científica (Hacking, 1996; Ferreirós y Ordóñez, 2002; Iglesias, 2004). Según estos estudios, es preciso superar la mirada clásica —o heredada— de la filosofía de las ciencias a partir de la cual se resalta una visión acumulativa del conocimiento y una clara sobrevaloración de la dimensión teórica sobre la dimensión experimental, y propender más bien por el estableci-



miento de una visión integral que permita asumir que la experimentación y la teoría no son dimensiones separables en la construcción del conocimiento (Romero y Aguilar, 2013).

En este orden de consideraciones, la actividad científica puede ser más adecuadamente considerada como una *filosofía técnica*, es decir, un híbrido de teorización (filosofía, lógica, argumentación) y experimentación (técnica, manipulación, observación) (Ferreirós y Ordóñez, 2002). Si bien en el proceso de construcción del conocimiento científico se habla usualmente del *mundo del pensamiento* y del *mundo de la realidad* —es decir de la teoría y del 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” (Iglesias, 2004, p. 107).

Esta forma de plantear la relación teoría-experimento es precisamente aquella que se configuró a partir de la segunda mitad del siglo XIX, y que llevó a establecer una visión del mundo físico alternativa a las clásicas perspectivas inductiva y deductiva. Según los estudios referidos, en esta época ocurrió una ampliación del campo de análisis de los fenómenos físicos que condujo al desarrollo de una reflexión sistemática sobre el rol que tiene la actividad experimental en los procesos de construcción del conocimiento. Preguntas como las siguientes orientaron esta propuesta: ¿qué relación

existe entre la experiencia sensible y las formalizaciones propiamente dichas? ¿Hasta qué punto el diseño experimental es independiente de la conceptualización y de la formalización? ¿Es posible hablar de los fenómenos mismos por fuera de las teorías desde las cuales estos se conciben? Como resultado de dicha reflexión, surgió lo que se ha denominado la *perspectiva fenomenológica* del mundo físico. Contrario a lo que afirman las clásicas perspectivas deductiva e inductiva, desde esta visión del mundo, el experimento no interviene en el desarrollo del conocimiento científico como un simple verificador de los enunciados teóricos o como la única fuente de conocimiento a partir de la cual, vía la inducción, se obtienen las diferentes teorías. Desde esta perspectiva, el experimento no es trivializado como un mero elemento subsidiario de la teoría, sino que estas dos dimensiones —experimentación y teorización— son asumidas como complementarias, constitutivas e interdependientes en los procesos de producción científica (Romero y Aguilar, 2013).

Estas consideraciones han sido retomadas por un enfoque de análisis de la actividad científica que se ha denominado *nuevo experimentalismo* o *filosofía de las prácticas experimentales* (Hacking, 1996; Pickering, 1995). De acuerdo con este, para tener una visión integral de la actividad científica es preciso asumir que la experimentación y la teoría —es decir la intervención y la representación— no son dimensiones separadas, sino que se

relacionan dialécticamente en los procesos de producción del conocimiento.

Se configura, así, una forma alternativa de asumir la relación entre la teoría y la experimentación: los resultados que surgen de este proceso interactivo de los elementos intervinientes en la construcción de las explicaciones científicas son el producto de una acomodación recíproca de las técnicas y de las teorías, en el que su evolución carece de dirección predefinida.

### ***El papel del instrumento en la fabricación de efectos y hechos científicos***

Desde los inicios de la década de los ochenta, se ha venido consolidando una perspectiva del estudio de la dinámica científica que tiene como intención comprender las formas como ocurre la *práctica científica* misma, por medio de la identificación y la observación naturalista de contextos y episodios que le son propios (Iglesias, 2004). Estimulada por algunos presupuestos del *programa fuerte* de la Sociología del Conocimiento Científico —SCC—, esta perspectiva enfatiza que no solo la construcción del conocimiento científico tiene un carácter sociocultural, sino que es igualmente tributario de tal carácter lo que llamamos “realidad natural” —o naturaleza—. Dos consideraciones adquieren especial relevancia en este enfoque. Por una parte, los aspectos que se denominan como *lo natural* y *lo social* deben ser tratados en auténtica simetría y debe propenderse hacia

la demostración de una la dialéctica existente entre ellos (Shapin y Schaffer, 1985; Latour y Woolgar, 1995). Complementariamente, los denominados “elementos materiales” de las ciencias, es decir, el conjunto de instrumentos, experimentos y técnicas diseñadas y usadas en los espacios de producción científica, se vuelven determinantes a la hora de comprender y analizar las formas como se ha asumido y practicado la actividad científica a lo largo de la historia (Hacking, 1996; Franklin, 1986; Picckering, 1995; Steinle, 1997 y 2002).

En este sentido, Shapin (1990), a propósito de los análisis de las controversias sobre las experiencias con la máquina neumática de Boyle alrededor de los años 1660, considera el *hecho científico* como una categoría tanto epistemológica como sociológica. Esta categoría, tomada como el fundamento de la filosofía experimental y de lo que vale de manera general como conocimiento fundado, es “un producto de la comunicación y de la forma social necesaria para sostener y favorecer tal comunicación” (Shapin, 1990, p. 4). Por su parte, Latour (1991) propone extender el principio de simetría del programa fuerte de la SCC. Según él, no solo se ha de renunciar a cualquier caracterización valorativa de los conocimientos científicos y tratarlos en pie de igualdad con otra clase de creencias existentes en la sociedad, sino que igualmente se debe admitir que tales conocimientos son a la vez *sociales* y *naturales*. No tiene sentido separar los conocimientos en científicos

y no científicos basados en la supuesta consideración de que unos derivan de la naturaleza y otros de la sociedad; no se debe admitir que hay, por un lado, objetos naturales y, por otro, objetos sociales, pues ellos son al mismo tiempo tanto naturales como sociales, es decir, *híbridos*. El laboratorio se convierte, desde esta perspectiva, en un espacio privilegiado para el análisis de la construcción de conocimientos científicos, en la medida en que permite evidenciar cómo los científicos están constantemente abocados a convencer y ser convencidos de aceptar como *hechos* las explicaciones que construyen y, consecuentemente, de que sus prácticas están inmersas en procesos discursivos de debate y argumentación (Latour y Woolgar, 1995).

Este carácter histórico, fabricado, de la “realidad natural” hace adquirir un papel protagónico a los llamados “elementos materiales” de la actividad científica. Los instrumentos, procesos de medida y técnicas experimentales no solo son, desde esta perspectiva, el nexo o canal de comunicación entre nuestros pensamientos y aquello que denominamos naturaleza, sino que se convierten en la *condición de posibilidad* de los efectos científicos y los fenómenos naturales (Romero y Aguilar, 2013). Así, el diseño y la construcción de los instrumentos no se realiza al margen de la construcción y la organización del fenómeno, ya que, como se señala en el capítulo 2, 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.

En este sentido, los aportes de Pickering (1995) resultan particularmente importantes. Según este autor, en la producción de cualquier resultado experimental entran en juego tres elementos estructurales: un procedimiento material, un modelo instrumental y un modelo fenoménico. Si bien la actividad experimental comienza de tal modo que no hay ninguna relación aparente entre estos elementos, avanzando en el proceso se obtiene una coherencia entre ellos, una estabilización tal que “los procedimientos materiales [...] al ser interpretados a merced de un modelo instrumental, producen hechos dentro del marco de un modelo fenoménico” (citado por Ferreirós y Ordóñez, 2002, p. 68). Así, el análisis de los procesos interactivos de estos elementos constituye para Pickering (1995) la *dinámica de la experimentación*, que sucede gracias a que todos estos elementos resultan ser recursos eminentemente plásticos en los procesos de construcción del conocimiento científico.

En este orden de consideraciones, se puede afirmar que tanto los hechos científicos como los instrumentos tienen un carácter sociocultural y, consecuentemente, es posible establecer una relación de constitución entre teorización y experimentación. El instrumento, desde esta perspectiva, adquiere sentido en un contexto problemático en el cual se crean condiciones para su funcionalidad, y este,

a su vez, responde a las intencionalidades del sujeto en su intento de organizar los fenómenos en consideración.

### ***El rol del instrumento en los procesos de medición***

La forma usual de asumir la medición en física radica en considerarla como un proceso del cual se extraen “datos” del mundo físico, haciendo uso de aparatos o instrumentos que se adquieren para cada situación. Sin embargo, dichos instrumentos son utilizados desconociendo la carga teórica que subyace en su construcción y las razones que la generaron (Romero y Aguilar, 2013). Cabe resaltar también que es común encontrar que cada vez que se habla de un proceso de medición dentro de una actividad experimental, dicho acontecimiento se sitúa dentro del llamado *laboratorio*: un lugar especializado donde se toman datos, se descubren efectos y se desarrollan destrezas de manejo de instrumentos, a la vez que es concebido como el recinto en el cual solo es lícito el conocimiento científico. Así, desde estas perspectivas, el instrumento es utilizado ciegamente, perpetuando la separación entre la teoría y el experimento.

Contrario a esto, hay algunos planteamientos y análisis que promueven nuevas perspectivas sobre la construcción y el uso del instrumento como vía de superación de la disyunta relación mencionada, tales como el surgimiento intencionado de este en respuesta a los intereses de

cada época (Ferreirós y Ordóñez, 2002), su rol en la creación de efectos y fenómenos (Hacking, 1996), la carga teórica y la reflexión histórica que supone la construcción de aparatos (Iglesias, 2004) y el surgimiento de los instrumentos a partir de la caracterización de propiedades tendientes a ser clasificadas y ordenadas como parte de procesos de medición (Duhem, 2003; Campbell, 1994). De acuerdo con estos planteamientos, la construcción de un instrumento de medida proporciona espacios que privilegian la elaboración colectiva de explicaciones, dando pie a que se pueda encontrar una interrelación entre experimentación y teoría. Para Ferreirós y Ordóñez (2002), los instrumentos han surgido de las descripciones y observaciones intencionadas en relación con el interés contextual de la época, las actividades ligadas a la búsqueda de soluciones a problemas o las adaptaciones tecnológicas de gran utilidad para las sociedades en cuestión. En este sentido, puede considerarse que el instrumento no es ajeno al fenómeno ni externo a él, puesto que aquel existe en cuanto existe un fenómeno con el cual se relacione conceptualmente. El fenómeno y el instrumento se constituyen en relación dialógica: la construcción y el desarrollo de un instrumento supone a la vez la construcción conceptual de un fenómeno (Velasco, 1998). De este modo, puede asegurarse que un fenómeno no es un extracto de la naturaleza, no es algo que está allí esperando a ser descubierto; en términos de Iglesias, “los fenómenos

de la ciencia no están ante la vista; debe trabajarse mucho para que advengan a existencia” (Iglesias, 2004, p. 115). Igualmente, Hacking (1996) sostiene que los científicos no descubren y explican fenómenos “extraídos” de la naturaleza; por el contrario, los crean para convertirlos en piezas centrales de la teoría.

### **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, reflexiones acerca de la NdC como las discutidas anteriormente?

Los intentos de incorporar reflexiones acerca de la NdC en la enseñanza han sido caracterizados en dos enfoques bien diferenciados: el implícito y el explícito. El primero sugiere que se puede adquirir una comprensión de aspectos relativos a la NdC mediante una enseñanza de contenidos disciplinares orientada a la adquisición de habilidades y hábitos científicos, involucrando directamente a los estudiantes en actividades de indagación (Acevedo-Díaz, 2008; Rudge *et al.*, 2014). El segundo, por su parte, resalta que se puede conseguir una mejor comprensión de la NdC mediante una enseñanza directa e intencionada de aspectos de este tópico, y eventualmente utilizando elementos de la historia, la filosofía y la sociología de las ciencias. Mientras que

quienes practican el enfoque implícito asumen como supuesto que los procesos relativos a la enseñanza de los contenidos y las 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 esta debe ser planeado e intencionado en lugar de asumirse como un efecto colateral de determinada perspectiva de enseñanza (Khishfe y Abd-El-Khalick, 2002).

Enfatizando en que el enfoque implícito no es suficiente para adquirir y comprender concepciones adecuadas de la NdC, varios investigadores han privilegiado el enfoque explícito como forma de promover y mejorar las visiones sobre este tema (Bennàssar Roig *et al.*, 2011). No obstante, es preciso reconocer igualmente que aunque los programas de formación de profesores incluyan en sus currículos contenidos sobre la NdC (usualmente a través de cursos de didáctica o de historia y filosofía de las ciencias), ello no significa que los profesores adquieran un conocimiento *adecuado* sobre estos aspectos y los aborden en sus propias clases. Y esto, en especial si se tiene en cuenta que la forma como el profesor 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 alguno de los

dos enfoques referidos. Tan problemático o inadecuado resulta ser la ingenua identificación de la NdC con los procedimientos de indagación científica (enfoque implícito) como la consideración de que una metarreflexión sobre las actividades y los procedimientos de la ciencia puede adelantarse sin abordar ni 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 el cambio respecto a la clase de contenidos disciplinares que deben hacer parte de la formación en ciencias impartida a los profesores.

¿Cómo contribuir a que los profesores en formación adquieran una mirada crítica sobre su propio saber disciplinar que les posibilite construir perspectivas adecuadas sobre la NdC?

De acuerdo con los análisis adelantados, la inclusión de tales reflexiones no tiene como propósito llevar a la clase de ciencias los tópicos y discusiones de la historia, la filosofía o la sociología de las ciencias. Más bien, su inclusión pretende transformar la clase en un escenario donde sea posible familiarizar a los estudiantes con los contenidos y las dinámicas de la ciencia, a la vez que se promueve una mirada crítica frente a ella (Romero y Aguilar, 2013). Se precisa para ello asumir una perspectiva sobre la NdC que permita visibilizar la pluralidad y el cambio cons-

tante en las preguntas, las explicaciones, los procedimientos y los cánones de científicidad, 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, se esbozan a continuación los elementos estructurales de una propuesta de enseñanza de las ciencias en torno a la experimentación, 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 el estudio de algunos episodios históricos de tópicos y contenidos de las ciencias, problematizados a la luz de ciertos contextos de análisis. La implementación de la propuesta y sus implicaciones es discutida ampliamente en los capítulos 2 y 3. 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 de investigación, a saber: el rol de la experimentación en la construcción del conocimiento.

El abordaje de las narrativas científicas seleccionadas toma como referente el uso de los estudios histórico-críticos de las ciencias en enseñanza de las ciencias. De acuerdo con Ayala (2006) y Rome-

ro 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 concebían acerca de fenómenos o problemáticas particulares, ni en hacer seguimientos cronológicos de la evolución de un concepto específico, o en 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 abordar y 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 ciencias de los 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 y/o sociológicas del episodio. El *contexto pedagógico*, por su parte, es aquel en el que se reflexiona sobre los saberes didáctico-pe-

dagógicos necesarios para que el profesor adquiriera una visión crítica y transformadora de su práctica educativa.

En la tabla 1.1 se sintetizan algunos de los episodios históricos abordados en la investigación y las correspondientes temáticas discutidas en los contextos de análisis propuestos. Cada episodio se apoya en uno o varios fragmentos de textos de primera fuente, cuyo centro de análisis es el problema de la experimentación en su relación con la construcción teórica, discutido en cada caso a propósito de tentativas de organización de fenómenos científicos particulares (aquellos concernientes a los fenómenos electrostáticos, de la neumática, cromáticos o de la fermentación). Las temáticas discutidas en los tres contextos de análisis han sido identificadas y definidas a través de un proceso dialógico entre los análisis histórico-críticos adelantados a las narrativas científicas y ciertas problemáticas identificadas en los procesos de enseñanza de las ciencias.

Estos episodios y temáticas han sido seleccionadas y delineadas 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 de la Universidad de Antioquia (Medellín, Colombia), y se han constituido en base y fundamento para el rediseño de algunos cursos en los programas de formación de profesores de ciencias de esta misma universidad. Algunos de estos episodios y contextos de análisis son descritos y discutidos en los capítulos posteriores.

**Tabla 1.1** Ejemplos de episodios históricos y sus correspondientes contextos de análisis

<i>Episodios históricos (narrativas científicas)</i>	<i>Contexto disciplinar (problema de la experimentación)</i>	<i>Contexto de la NdC</i>	<i>Contexto pedagógico</i>
Franklin y Dufay. 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. Reproducción y análisis de efectos asociados a la electrificación. Análisis del rol de instrumentos para la fabricación de efectos.	Relación entre teorización y experimentación: adecuación de las explicaciones a nuevas experiencias. 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. Nuevos énfasis en las actividades experimentales en la clase de ciencias. Producciones escritas y discurso oral de los participantes.
Controversia Pascal-Noel en torno a la noción de vacío, o de cómo las concepciones y la formación de los científicos determinan sus modos de observación y el desarrollo de sus ideas científicas.	Posturas explicativas en relación con la neumática. Reproducción de algunas experiencias de neumática.	Funciones de la experimentación en la construcción de explicaciones sobre la neumática. Carácter (y poder) explicativo de las organizaciones conceptuales. Rol de las concepciones teóricas en la actividad experimental (carga teórica de la observación).	Valoración de las explicaciones de los estudiantes. Identificación de la diversidad de explicaciones y argumentaciones de los estudiantes.
Goethe y su teoría del color, o de cómo la experimentación (exploratoria) es una forma de construcción conceptual y teórica.	Reproducción y análisis de diferentes efectos y experimentos asociados al color. Posturas explicativas en relación con los fenómenos cromáticos.	Relación entre teorización y experimentación. Estilos de pensamiento y visiones de mundo en la perspectiva fenomenológica.	Rol de la experimentación exploratoria en la clase de ciencias. La clase de ciencia como escenario de construcción de explicaciones y organización de experiencias sensibles.
Pasteur y la identificación de microorganismos productores de la fermentación, o de cómo la experimentación y la teorización son dimensiones interdependientes.	Reproducción y análisis de efectos y experimentos asociados al fenómeno de la fermentación. Posturas explicativas en relación con la fermentación.	Relación entre teorización y experimentación: adecuación de las explicaciones a nuevas experiencias. Rol de los elementos materiales en la construcción del fenómeno de la fermentación (carga experimental de la teoría).	Nuevos énfasis en las actividades experimentales en la clase de ciencias: la experimentación exploratoria. Reflexión sobre objetivos y propósitos de la experimentación en la clase de ciencias.



## Notas

- 1 Algunas de estas reflexiones y análisis han sido discutidos en Romero, Aguilar y Mejía (2016).
- 2 Algunos de estos aportes son discutidos en Romero y Aguilar (2013), Romero (2013) y Romero, Aguilar y Mejía (2016).

## Referencias bibliográficas

- 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. (2006). Los análisis históricos críticos y la reconstrucción de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades. *Pro-Posições*, 17(49), 19-37.
- Bennássar Roig, Á., Vázquez Alonso, A., Manasero Mas, M. A., García-Carmona, A. (eds.) (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. Recuperado de <http://www.oei.es/salactsi/DOCUMENTO5vf.pdf>.
- Campbell, N. (1994). Medición. En Newman, J. (ed.), *Sigma: El mundo de las matemáticas*, t. V. Barcelona: Grijalbo.
- Duhem, P. (2003). *La teoría física. Su objeto y su estructura* (traducción de M. P. Irazzábal). Barcelona: Herder.
- 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. y 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. y Ordóñez, J. (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.
- García, E. (2011). Filosofía de las prácticas experimentales y enseñanza de las ciencias. *Praxis Filosófica*, 31, 7-24.
- Hacking, I. (1996). *Representar e intervenir* (traducción de Sergio F. Martínez). México: UNAM, Paidós.
- Höttecke, D. y 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. y Abd-El-Khalick, F. (2002). Influence of Explicit and Reflective Versus Implicit Inquiry-Oriented Instruction on Sixth Grader's Views of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 7(39), 551-578.
- Latour, B. y Woolgar, S. (1995). *La vida en el laboratorio. La construcción de los hechos científicos*. Madrid: Alianza.
- Malagón, J. F. (2002). *Teoría y experimento, una relación dinámica: Implicaciones en la enseñanza de la física*. Departamento

- de Física, Universidad Pedagógica Nacional, Colombia. (Documento inédito).
- Martins, R. de A. (2006). Introdução: A história das ciências e seus usos na educação. En Silva, C. C. (comp.), *Estudos de história e filosofia das ciências*. São Paulo: Editora 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. y 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. y Silva, C. C. (2013). A abordagem multicontextual da história da ciência na formação de professores de física: análise de um estudo de caso. *Comunicación en el IX Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias*, Girona, 9-12 de septiembre de 2013.
- Osborne, J., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R. y 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.
- Rodríguez, O. y Romero, Á. (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, Á. (2013). La experimentación como potenciadora de reflexiones sobre la naturaleza de las ciencias. En Malagón, J. F., Ayala, M. M. y Sandoval, S., *Construcción de fenomenologías y procesos de formalización. Un sentido para la enseñanza de las ciencias* (pp. 39-55). Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Romero, Á. y Aguilar, Y. (2013). *La experimentación y el desarrollo del pensamiento físico. Un análisis histórico y epistemológico con fines didácticos*. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.
- Romero, Á., Aguilar, Y. y Mejía, S. (2016). Naturaleza de las ciencias y formación de profesores de física. El caso de la experimentación. *CPU-e, Revista de Investigación Educativa*, 23, 75-98.
- Rudge, D., Cassidy, D., Fulford, J. y Howe, E. (2014). Changes Observed in Views of Nature of Science During a Historically Based Unit. *Science & Education*, 23(9), 1879-1909.
- Shapin, S. (1990). Une pompe de circonstance. La technologie lettériare de Boyle. En Callon, M. y Latour, B. (eds.), *La science telle qu'elle se fait*. París: La Découverte.
- Shapin, S. y Shaffer, S. (1985). *Leviatan and the Air-Pump: Hobbes, Boyle, and the Experimental Life*. Princeton University Press.
- Steinle, F. (1997). Entering New Files: Exploratory Uses of Experimentation. *Philosophy of Science*, 64, S65-S74. Supplement. Proceedings of the 1996 Biennial Meetings of the Philosophy of Science Association. Part II: Symposia Papers.
- \_\_\_\_\_. (2002). Challenging Established Concepts. Ampère and Exploratory Experimentation. *Theoria: An International Journal for Theory, History and Foundations of Science*, 17(2), 291-316.
- Van Dijk, E. M. (2011). Portraying Real Science in Science Communication. *Science & Education*, 95, 1086-1100.
- Velasco, M. (1998). Experimentación y descubrimiento: algunas reflexiones desde la epistemología de la experimentación. *Revista Episteme (Porto Alegre)*, 3(6), 137-143.

## Capítulo 2

# La experimentación en el aula. Aportes de la naturaleza de las ciencias

Paula Andrea Amelines Rico

Ángel Enrique Romero-Chacón

### Introducción

Durante los últimos años se ha notado un especial interés por incluir en los procesos de enseñanza diversas reflexiones acerca de la Naturaleza de las Ciencias (NdC en adelante), debido a los beneficios que estas reflexiones pueden posibilitar en el abordaje, desarrollo y comprensión de los contenidos a enseñar (Matthews, 1994; Adúriz-Bravo, 2005; Acevedo-Díaz, 2008; Höttecke y Silva, 2011). Sin embargo, se ha reclamado la poca presencia de esta clase de reflexiones en la formación de los profesores y el desconocimiento de las bondades que ellas pueden tener en los procesos de construcción del conocimiento en el aula

de clase (Höttecke y Silva, 2011; Acevedo-Díaz, Vásquez-Alonso, Manassero-Más y Acevedo-Romero, 2007; Acevedo-Díaz, 2008). En este orden de consideraciones, las reflexiones acerca del papel de la actividad experimental en el desarrollo del conocimiento científico son particularmente importantes, máxime cuando se constata la estrecha relación existente entre el sentido y el rol asignado a la experimentación en su relación con la dinámica científica y el modo como los profesores justifican, diseñan e implementan las actividades prácticas en la enseñanza de las ciencias.

Con la intención de contribuir a resolver estas dificultades, el presente texto discute los fundamentos teóricos y las

contribuciones pedagógicas de una propuesta de cualificación de profesores de ciencias, surgida en el marco de un trabajo de investigación (tesis) en el programa de Maestría en Educación, línea de Educación en Ciencias Naturales, de la Universidad de Antioquia (Medellín, Colombia). El trabajo de investigación tuvo como objetivo general proponer algunas consideraciones teóricas y metodológicas que permitieran vincular reflexiones acerca de la NdC en la formación de profesores, a partir del análisis de episodios históricos y el diseño de actividades de aula alrededor del rol de la experimentación en los procesos de construcción de conocimiento.

La realización de un análisis del rol de la actividad experimental en la construcción de conocimiento, fundamentado desde una perspectiva histórica y epistemológica, permitió formas alternativas de comprender y abordar los procesos de organización de los fenómenos físicos en la enseñanza de las ciencias, al favorecer una imagen social y cultural de la experimentación y la construcción de hechos científicos. En particular, el análisis de los discursos de los profesores participantes en la investigación a lo largo de la implementación de la propuesta pedagógica permitió identificar dos perspectivas referentes a la relación teorización-experimentación: una resalta la relación de independencia entre estas dimensiones y otra favorece su relación de complementariedad. De igual forma, se distinguieron imágenes de la función del instrumento

como registro y constatación de datos, que se fueron orientando hacia la idea del instrumento como posibilidad de producción de fenomenologías.

### **Referentes teóricos y conceptuales**

Los análisis documentales y conceptuales adelantados en la investigación permitieron establecer dos aspectos teóricos que fundamentan la propuesta pedagógica diseñada e implementada. Por una parte, el carácter dialéctico y de complementariedad de la relación teorización-experimentación y, por otra parte, el carácter fabricado (construido) de los instrumentos y procesos de medida. Se sintetizan a continuación estos referentes conceptuales.

#### ***Sobre la relación teorización-experimentación en la dinámica científica***

Revalorando la importancia que tiene el experimento en la constitución y el desarrollo científico, recientes estudios históricos y filosóficos de las ciencias han resaltado una visión integral de la actividad científica a través de la cual se asume que la experimentación y la teorización no solo son dimensiones equiparables (Hacking, 1996; Ferreirós y Ordóñez, 2002) sino también interdependientes (Iglesias, 2004). Hacking ha destacado la vida propia de la experimentación en su relación con la teoría, y ha invitado a revalorizar el movimiento denominado

“filosofía experimental”, gestado en los inicios del siglo XIX y que se orientó hacia una reflexión sistemática sobre el rol que tiene la actividad experimental en la construcción del conocimiento. Retomando estas consideraciones, Ferreirós y Ordóñez (2002) señalan que en la dinámica científica la fase experimental y la fase teórica están situadas cuando menos en el mismo plano; la primera goza de tanta autonomía como pueda tener la segunda.

Esta mirada pretende superar dos perspectivas usuales sobre la relación experimentación-teorización que, por así decirlo, resaltan los polos extremos de esta. Por un lado, la visión que atribuye al experimento la fuente exclusiva del conocimiento, a partir de la cual —inductivamente— se adquieren los conocimientos teóricos; y por otro lado, aquella perspectiva en la que se considera a la teoría como base o fundamento del conocimiento científico y, consecuentemente, al experimento como elemento que solo permite verificar o refutar dicha teoría. Por el contrario, esta visión propende por una relación de constitución o de complementariedad entre ambos elementos en los procesos de producción científica; relación que se identifica cuando se comprende que existe una especie de comunicación o diálogo entre la experimentación y la teorización, o bien cuando se reconoce una dinámica entre ellas tal que desarrollos en una dimensión producen desarrollos en la otra.

Como lo consideran algunos autores (Iglesias, 2004; Romero y Aguilar, 2013),

los análisis histórico-críticos de ciertos episodios del desarrollo de las ciencias pueden tanto justificar como constatar la idea de que la relación que se establece entre teoría y experimento no tiene un carácter unitario ni unidireccional; por el contrario, existe una variedad de tales relaciones que dependen tanto de las formas particulares como se asuma cada una de estas dimensiones en el desarrollo del conocimiento científico como del contenido disciplinar mismo y de la clase de fenómenos en consideración. Algunos de estos análisis han mostrado que esta forma de asumir e implementar el rol de la experimentación hizo posible, en la segunda mitad del siglo XVIII, la exploración y el estudio de campos fenoménicos nuevos, tales como la termología y la electricidad, que vendrían a configurar las bases experienciales y conceptuales de la termodinámica y el electromagnetismo. Los detallados estudios exploratorios adelantados por W. Gilbert (1544-1603), S. Gray (1666-1736) y Ch. F. Dufay (1698-1739) sobre los fenómenos electrostáticos, por ejemplo, no solo permitieron ampliar la base experiencial sobre esta clase de fenómenos, sino que posibilitaron el surgimiento de ideas que se articularon conceptualmente y que, en consecuencia, condujeron a su vez al diseño de nuevos experimentos. En su *Quatrième mémoire sur l'électricité. De l'attraction y répulsion des corps électriques*, Dufay (1747) expone la forma como llegó a convencerse de la existencia de dos clases diferentes de electricidad:

Es entonces establecido que los cuerpos electrificados por comunicación son repelidos por aquellos que los han vuelto eléctricos; pero ¿son repelidos de igual forma por otros cuerpos eléctricos de otros géneros? Y los cuerpos eléctricos, ¿no difieren entre ellos más que por los diversos grados de electricidad? Este examen me ha conducido a otra verdad que jamás habría supuesto y de la que creo nadie ha tenido aún la menor idea [...]. Habiendo levantado [y sostenido] en el aire una hoja de oro por medio del tubo [electrizado], aproximé a ella un trozo de goma copal frotado y vuelto eléctrico; la hoja se adhirió en el acto y allí permaneció. Reconozco que esperaba un efecto totalmente contrario, porque según mi razonamiento, la [goma] copal que estaba electrizada debería repeler la hoja que también lo estaba [...]. Luego de varias tentativas de las que ninguna me satisfacía, aproximé a la hoja de oro repelida por el tubo una bola de cristal de roca frotado y vuelto eléctrico, ella repelió la hoja igual que el tubo. Otro tubo que hice exponer a la misma hoja la expulsó igual. En fin, no pude dudar que el vidrio y el cristal de roca hicieran precisamente lo contrario que la goma copal, el ámbar y la cera de España, de suerte que la hoja repelida por unos, a causa de la electricidad que ella había adquirido, era atraída por los otros. Eso me hizo pensar que quizás había dos géneros de electricidad diferentes, y estuve bien convencido de esta idea por los experimentos siguientes (p. 464).

Desde esta perspectiva, el conocimiento científico está conformado por una dicotomía entre dos dimensiones: el mundo del pensamiento y el mundo de la realidad —o la naturaleza— y lo que entendemos por ella. No obstante, tal como lo señala

Iglesias (2004), aunque esta dicotomía es insalvable, “de lo que se trata cuando se hace ciencia es de ver el modo en que los pensamientos y la vida experimental *conquerdan* hasta darnos la idea de que efectivamente conocemos algún aspecto de la naturaleza o de la realidad” (p. 107).

### ***Sobre el papel de los instrumentos en la construcción de conocimiento***

Esta perspectiva acerca de la dinámica científica atribuye un rol fundamental a los instrumentos, procesos de medida y diseños y técnicas experimentales utilizadas en los espacios de producción científica. De acuerdo con esta mirada que promulga una “filosofía de las prácticas experimentales”, los denominados *elementos materiales* de las ciencias no solo forman parte de la actividad científica, sino que determinan la posibilidad misma de existencia de sus objetos de estudio: los efectos, los fenómenos y los hechos científicos (Hacking, 1996; Pickering, 1995; Iglesias, 2004). Para Hacking (1996) la experimentación es una intervención humana mediante aparatos e instrumentos, aclarando que esta intervención no solo se da en la dirección de lo humano hacia lo natural sino igualmente de lo natural hacia lo humano. Retomando estas ideas, Iglesias (2004) señala que los *efectos científicos*, materia prima de los fenómenos, no se producen espontáneamente, sino que son entidades que adquieren existencia mediante determinadas prácticas experimentales y

modos específicos de comportarse la naturaleza. Es en este sentido que Ferreirós y Ordóñez (2002) consideran que aunque se afirme que la base empírica de la física está formada por resultados experimentales, “para construir las teorías no hubo que observar sino *experimentar*” (p. 59).

Así, los instrumentos y procesos de medida no solo son el nexo o canal de comunicación entre nuestros pensamientos y aquello que denominamos la naturaleza, sino que se convierten en la condición de posibilidad de los efectos científicos y los fenómenos naturales (Romero y Aguilar, 2013). El diseño y la construcción de los instrumentos no se realiza al margen de la construcción y la 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 del otro, hasta el punto de no diferenciarlos. En los referidos estudios experimentales adelantados por Gilbert, Gray y Dufay sobre los fenómenos electrostáticos, los “efectos eléctricos” percibidos en la interacción de los diferentes materiales electrificados no aparecían por simple contemplación (observación); su existencia era dependiente de cuidadosos diseños experimentales y de un instrumento (indicador) adecuado que pudiera detectarlos. Gilbert, en su *On the Loadstone and Magnetic Bodies and on the Great Magnet the Earth* (1893), señalaba lo siguiente:

Ahora bien, para entender claramente por la experiencia cómo tal atracción tiene lugar, y

cuáles son aquellas sustancias que pueden atraer otros cuerpos (y en el caso de muchas de estas sustancias electrificadas, aunque los cuerpos influenciados por ellas se inclinen en sus direcciones, debido a la poca intensidad de la atracción ellos no son claramente empujados, sino fácilmente levantados), haga usted mismo una aguja giratoria (electroscopio-*versorium*) de cualquier tipo de metal, de tres o cuatro dedos de largo, muy ligera, y en equilibrio sobre una punta afilada a la manera de un puntero magnético (brújula). Acerque a un extremo de ella un trozo de ámbar o una gema, levemente frotada en la superficie, pulida y brillante: inmediatamente el instrumento girará (citado por Torres-Assis, 2010, p. 42).

Dufay (1747), por su parte, explica su diseño de *versorium* de la siguiente manera:

Ahorraré al lector un detalle aburrido y desalentador de experimentos malogrados o imperfectos, y solo diré que para tener éxito, debemos utilizar una aguja de vidrio colocada sobre un pivote de vidrio muy largo, que esta aguja tenga en uno de sus extremos una bola de metal hueca, y en el otro un contrapeso de vidrio, que deben estar completamente secas estas partes, y entonces es necesario comunicar la electricidad a la bola de metal con el tubo, o algún material similar; la bola será entonces atraída por los cuerpos cuya electricidad es resinosa, y rechazada por aquellos que tienen electricidad vítrea. Si queremos, al contrario, dar a la bola electricidad resinosa, es necesario que la aguja, el peso y el contra-peso sean de cera Española, o algún material semejante, y entonces tendremos éxito a la perfección (pp. 473-474).

Esta concepción de la experimentación se nutre con aportes de la perspec-

tiva sociológica de la dinámica científica, en particular con estudios como los adelantados por Shapin (1990) y Latour y Woolgar (1995), a través de los cuales se presenta la actividad científica como un proceso discursivo y de argumentación que vincula las relaciones conceptuales y experimentales presentes en la construcción científica, tales como la edificación de evidencias, de un público y de testigos, señalando la manera como todos estos factores se relacionan y favorecen la construcción y consolidación de los llamados hechos científicos.

Latour y Woolgar (1995), adelantando un análisis etnográfico de la forma como se generan, justifican y modifican los enunciados que un grupo de científicos construye en su intento de realizar explicaciones para dar sentido a sus observaciones, proponen hacer uso de la noción (sociológica) de *instrumento de inscripción*. Según estos autores, un instrumento de inscripción es un aparato, o conjunto de elementos de un aparato, cuya función es transformar un elemento material (instrumento) en una inscripción gráfica (trazos, histogramas, valores registrados, espectros, diagramas, señales, etc.), directamente utilizable por quienes disponen del instrumento. La importancia fundamental como categoría de análisis radica en que es a través de los instrumentos de inscripción que se fabrican las explicaciones y los discursos (orales y escritos) acerca de los fenómenos o situaciones en consideración. Complementariamente, como señala Romero (2013), es sobre la

base de la generación y la transformación de tales explicaciones y discursos que se potencializa la generación de nuevos elementos del instrumento y de los procedimientos experimentales. Así, “la realidad artificial, que los participantes [científicos] describen en términos de una entidad objetiva, ha sido de hecho construida utilizando instrumentos de inscripción” (Latour y Woolgar, 1995, p. 79).

Shapin (1990), por su parte, a propósito de los análisis de las controversias sobre las experiencias con la máquina neumática de Boyle, considera el *hecho científico* como una categoría tanto epistemológica como sociológica. Como lo muestra Shapin, el establecimiento de un hecho científico no es un proceso espontáneo, sino que requiere desplegar una *tecnología de socialización*, que involucra tres aspectos estrechamente relacionados: una tecnología material, vinculada con el diseño experimental y cuyo objetivo es la producción de nuevos efectos; una tecnología literaria, cuyo propósito es facilitar la constitución de una comunidad de *testigos* que certifique y valide las experiencias realizadas; y una tecnología social, cuya intención es procurar la reproductibilidad de los efectos para asegurar que sean considerados públicos (Romero, 2013).

Así, participar en la construcción de una determinada fenomenología es participar en la construcción de las *formas de hablar* de dicho fenómeno. A medida que se adelantan elaboraciones acerca de los instrumentos y, correspondientemente,



interpretaciones del fenómeno en consideración, también se va construyendo y transformando el lenguaje que lo define y limita.

### Aspectos metodológicos

La investigación se enmarcó dentro del enfoque cualitativo con un tipo de estudio interpretativo (Hernández-Sampieri, Fernández-Collado y Baptista-Lucio, 2006), asumiendo el estudio de caso como el método más adecuado para realizar esta investigación (Stake, 2010). Se basó en el análisis cualitativo de contenido, considerando como unidades de registro los enunciados de los docentes participantes, expresados como fruto del desarrollo de las actividades diseñadas. El caso lo constituyó un grupo de docentes del área de Ciencias Naturales del Colegio La Presentación (Medellín, Colombia), de diferentes grados y asignaturas (Física, Química y Biología). La información se obtuvo por medio del contacto directo con los participantes, a través de métodos escritos y orales como cuestionarios cerrados y abiertos, entrevistas semiestructuradas y grupos de discusión, adelantados durante la implementación de la propuesta pedagógica a modo de seminario-taller. Durante las sesiones diseñadas e implementadas fueron hechas grabaciones de audio y video. Algunas de las actividades se realizaron de manera virtual, como la lectura de textos y el desarrollo de algunos cuestionamientos,

para luego realizar una socialización de manera presencial.

La propuesta pedagógica está inspirada en la realizada por de Moura y Silva (2013), y consistente en el estudio de algunos episodios históricos, problematizados a través de ciertos contextos de análisis. Los episodios históricos propuestos corresponden a una serie de fragmentos de narrativas científicas, tomados de textos de primera fuente, cuyo contenido gira en torno a la experimentación como fuente de conocimiento, y seleccionados de forma que presentaran diversas interpretaciones y explicaciones acerca de algunos fenómenos físicos. La elección de estos textos y fragmentos de primera fuente obedece al supuesto de que un acercamiento a su análisis y reflexión fortalece la dimensión histórica y epistemológica de las ciencias, favorece la comprensión de los procesos de la actividad científica y moviliza procesos de contextualización y metacognición de lo que se entiende por ciencia, y, consecuentemente, de lo que asume como propósito y contenido para su enseñanza. Dos ejemplos de tales fragmentos son aquellos de Dufay y Gilbert citados arriba. Tres fueron los contextos de análisis propuestos: el disciplinar, el de la NdC y el pedagógico. El *contexto disciplinar*, o dimensión en la que se analizan los contenidos científicos de los episodios, examina la relación teorización-experimentación y el rol de los instrumentos en la construcción de conocimiento; el *contexto de la NdC*, posibilita el análisis de los fragmentos

históricos con base en la relación teorización-experimentación como dualidad que permea las dinámicas científicas, los procesos de construcción de hechos científicos y el papel de la interpretación en la ciencia; el *contexto pedagógico*, por su parte, hace alusión a los saberes didáctico-pedagógicos adecuados para que los profesores participantes desarrollen una visión crítica y transformadora de su práctica educativa, en la que puedan identificar y vincular nuevos referentes acerca del conocimiento, la experimentación y el trabajo de los científicos, y los relacionen y adecuen con aspectos relativos a los procesos de enseñanza y el aprendizaje de sus estudiantes.

El proceso de análisis de los enunciados se hizo a la luz de la estructuración de un marco de análisis basado y adaptado de la propuesta *Pensamiento reflexi-*

*vo como proceso epistémico* de Leitão (2011). De acuerdo con esta, el análisis se orienta hacia la interpretación de los argumentos de los participantes como un proceso en el que el individuo explicita sus ideas sobre las temáticas propuestas, y a la vez como proceso metacognitivo en el que el individuo se ve incitado a reflexionar acerca de sus propios argumentos e ideas. En este análisis, se identifican posibles transformaciones en el pensamiento de los profesores realizando un seguimiento a los enunciados durante el desarrollo de la propuesta pedagógica.

En la tabla 2.1 se describen las categorías, subcategorías e indicios propuestos para el análisis de los enunciados de los participantes desplegados en la implementación de la propuesta. En la tabla 2.2 se presentan los episodios históricos y sus correspondientes contextos de análisis.

**Tabla 2.1** Categorías, subcategorías e indicios

<i>Categorías</i>	<i>Subcategorías</i>	<i>Indicios</i>
Relación teorización-experimentación en la dinámica científica	Relación de independencia	Actividad teórica como fundamento de la experimentación
		Actividad experimental como fundamento de la dinámica científica
	Relación de complementariedad	Concepción equilibrada / relación de constitución
Papel de los instrumentos en la construcción de conocimiento	Instrumento como medio de registro y constatación de datos	Relación de independencia: uso de aparatos e instrumental
	Instrumento como posibilidad de generación de fenomenologías	Carácter sociocultural de los instrumentos y hechos científicos; relación de constitución mediada por el uso del lenguaje

**Tabla 2.2** Episodios históricos y contextos de análisis

<i>Episodios históricos (narrativas científicas)</i>	<i>Contexto disciplinar (experimentación)</i>	<i>Contexto de la NdC</i>	<i>Contexto pedagógico</i>
Fragmentos de textos de primera fuente relacionados con la organización del fenómeno eléctrico: Euler, L. (1762/1990). Dufay, Ch. F. (1747). Franklin, B. (1747/1963).	Diferentes interpretaciones en relación con la organización del fenómeno eléctrico. Reproducción y análisis de efectos asociados a la electrificación (atracción). Construcción y uso de instrumentos para la fabricación de efectos.	Relación entre teorización y experimentación. Rol de los elementos materiales 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. Tomado de Saito, F. (2006).	Posturas explicativas en relación con la neumática. Reproducción de algunas experiencias de neumática.	Funciones de la experimentación en la construcción de explicaciones sobre la neumática. Carácter (y poder) explicativo de las organizaciones conceptuales. Rol de las concepciones teóricas de los científicos en la actividad experimental que realizan.	Identificación y valoración de la diversidad de explicaciones y argumentaciones de los estudiantes.
Dufay y el comportamiento dual de la electrificación. Fragmentos tomados de: Torres-Assis, A. K. (2010) y Tatón, R. (1975).	Reproducción y análisis de diferentes efectos asociados a la electrificación (atracción-repulsión). Diseño y construcción de indicadores a propósito de la repulsión eléctrica. Interpretaciones de los efectos y adecuación de los instrumentos.	Relación entre teorización y experimentación: adecuación de las explicaciones a nuevas experiencias. Rol de los elementos materiales en la construcción del fenómeno eléctrico (carga experimental de la teoría).	Producciones escritas y discurso oral de los participantes.
Reflexiones sobre aspectos de la dinámica de la ciencia: Lavoisier, A. L. (1982). Einstein, A. (1983). Schrödinger, E. (1980). Heisenberg, W. (1985).		Imágenes y fuentes de conocimiento. Rol asignado a la experimentación en la construcción de conocimiento. Papel que juega la creatividad y la imaginación en la dinámica científica. Construcción (social) de los hechos científicos.	Toma de conciencia de las imágenes propias que se tiene sobre la ciencia a través de la identificación y caracterización de las imágenes que algunos científicos tienen sobre ella.

## Hallazgos y discusiones

### ***Relación teorización- experimentación en la dinámica científica***

Los aportes explícitos de los participantes permitieron percibir, inicialmente, tendencias que apuntaban a considerar una relación unidireccional entre teorización y experimentación, idea que fue común en las primeras actividades. Expresiones como “Vamos a comprobar cuál es...” y las siguientes se manifestaron en varias de las respuestas dadas por el participante que denominaremos 1 en el cuestionario inicial para designar la actividad científica o el trabajo durante la actividad experimental: “Es propio del trabajo científico verificar datos, elaborar pruebas, establecer hipótesis y valorar resultados”.

Es de resaltar que a partir de la sesión 4 se comenzaron a identificar algunos elementos representativos de la relación de complementariedad entre la teorización y la experimentación; en efecto, se encontraron enunciados en los que se reconoce la correspondencia entre ambos aspectos (teorización y experimentación) como un camino propicio para comprender la dinámica científica. En este sentido, el participante 1 estableció relaciones entre la controversia Pascal-Noel sobre la noción de vacío y la actividad experimental de Dufay en la construcción del fenómeno eléctrico, al indicar que los textos presentaban posiciones diferentes en cuanto a la manera como se han dado los momentos de consolidación de un cono-

cimiento en particular. Con estas consideraciones, el participante le está dando paso a una perspectiva más conciliadora entre ambos aspectos, al asumir un papel complementario para la experimentación y la teorización y resaltar que ambos elementos se ven cruzados o influenciados mutuamente, proceso que define de manera más adecuada la actividad científica:

O sea que aquí serían como los procesos inversos, para mí, según eso, porque en el anterior [Controversia Pascal-Noel] era desde la teoría que iban a tratar de comprobar, pero cuando teóricamente lo vieran viable; fuera algo viable. Y aquí [en el caso de Duffay], lo que están haciendo es que desde la experimentación están mirando si realmente se cumple, para después dar una *explicación*, un argumento ya teórico de qué es lo que está ocurriendo. Para mí son procesos inversos (*Respuesta de Eduardo. Sesión 4, socialización de la lectura y las preguntas orientadoras: 7/03/14*).

Este tipo de argumentos fueron aumentando a medida que se desarrollaban las actividades posteriores. Esto permite suponer que los análisis de los textos de primera fuente en contextos de construcción de conocimiento diferentes pudieron dar pie a movilizaciones orientadas hacia las miradas acerca de la actividad experimental que se privilegian en este trabajo. De igual manera, el uso de modalizadores y matizadores en el lenguaje puede estar dando cuenta de consideraciones que antes no se tenían presentes en relación con el proceso histórico de los contenidos científicos. En la sesión 7 —que consistía

en la lectura y análisis de fragmentos escritos por Lavoisier, Einstein, Schrödinger y Heisenberg sobre la NdC—, al realizar la pregunta de si se considera que el conocimiento sobre determinado fenómeno se fundamenta en una actividad experimental, en una actividad teórica o en la observación, el participante que designaremos como 2 argumenta lo siguiente:

Afirmo que el conocimiento y acercamiento a las ciencias no debe tomarse como algo aislado, sino como un articulado entre la experiencia, los fundamentos teóricos y el sujeto participante del proceso investigativo. De esta manera se puede conocer y hablar de un fenómeno a menor o mayor escala (*Respuesta de Jorge. Sesión 7, pregunta 8: 11/04/14*).

A través de este enunciado el participante menciona explícitamente su consideración sobre una relación entre teoría-experimentación como un articulado que permite el conocimiento sobre un fenómeno estudiado. Así, la imagen de un proceso científico de carácter deductivo —que había manifestado anteriormente en las sesiones iniciales— se va relativizando y transformando hacia la posibilidad de una actividad científica que puede estar permeada por procesos de experimentación. De modo complementario, la conceptualización se asume como elemento clave de los sustentos y desarrollos de la actividad experimental.

Frente a la misma pregunta, el participante 1 argumenta lo siguiente: “para mí estos procesos se deben integrar, puesto

que cada uno aporta parte importante en el proceso de construcción de ciencia” (Sesión 7, pregunta 8: 19/03/14). A través de este enunciado, este participante hace explícita una modificación en la concepción de experimento manifestada en sesiones anteriores, que consistía en asumirlo como una herramienta de corroboración y contrastación de las teorías, independiente de los procesos de construcción del conocimiento. A partir de lo analizado y discutido en la propuesta pedagógica, se comienza a percibir el experimento como una posible ruta de la construcción del fenómeno que se está estudiando. En este sentido, se puede decir que para el participante el experimento comienza a cobrar “vida propia” en los procesos de construcción del conocimiento, dada la posibilidad de llegar a conclusiones y guiar la actividad científica. Por tanto, ambos aspectos, teoría y experimentación, pueden ser considerados como elementos que se encuentran en el mismo nivel en la actividad de producción científica.

Estos procesos discursivos, suscitados por la propuesta pedagógica, denotan cierta modificación de las ideas iniciales, en las que se mencionaba la actividad experimental, o la actividad teórica, como fuente única de conocimiento. Por tanto, es viable establecer esta posible ruta para el desarrollo de un pensamiento más reflexivo y crítico sobre la manera como se da la dinámica científica y sobre la forma como este enfoque puede influir en los procesos de enseñanza y aprendizaje.

### ***Papel de los instrumentos en la construcción del conocimiento***

Para el análisis del papel de los instrumentos en la construcción de conocimiento, se privilegiaron enunciados o argumentos de las sesiones relacionadas con el desarrollo de actividades prácticas o con el estudio de narrativas científicas alusivas a la experimentación, por ser precisamente en dichas sesiones donde se adelantaron reflexiones sobre estas consideraciones. En este sentido, las producciones de los participantes correspondientes a las primeras sesiones se decantaron por un imaginario de instrumento visto exclusivamente como medio de registro y constatación de datos:

Los instrumentos tienen la propiedad de descubrir los fenómenos que se encuentran en la naturaleza (*Respuesta de Jorge. Sesión 1, cuestionario inicial, pregunta 4*).

Se habla de instrumento cuando se puede cuantificar algo de manera exacta, para diferenciar el comportamiento de un cuerpo respecto a otro, sometidos a las mismas condiciones (*Respuesta de Jorge. Sesión 2, pregunta 3: 21/02/14*).

En estas primeras sesiones, los argumentos y debates de los participantes se vincularon a una postura epistemológica en la que se aboga por una realidad externa sujeta a comprobación, demostración y verificación mediante el uso de instrumentos, asumidos en un rol externo y ajeno a la actividad científica.

En contraste, los enunciados de sesiones posteriores hacen mención a una

relación de constitución entre los hechos científicos y los instrumentos, relación que es mediada por el lenguaje y que permite configurar el carácter sociocultural de los instrumentos. Durante la socialización de las actividades correspondientes a la sesión 3, se establece la siguiente secuencia de diálogos a partir de experiencias sencillas sobre la neumática (contro-versia Pascal-Noel):

Eduardo: O sea, a mí no me da la situación de vacío acá, no me da porque según el comportamiento, el indicador que tengo en este momento es la bomba, ¿cierto? Yo con el émbolo sé que estoy generando un vacío, supuestamente, pero lo que estoy observando con el indicador que es la bomba es algo absolutamente distinto.

Paula: Porque miren, el indicador, ¿cuál dices tú [Eduardo] que es el indicador?, ¿la jeringa?, ¿la bomba?

Eduardo: Lo que pasa con la bomba...

Paula: Y la jeringa es como, digámoslo así, el medio...

Eduardo: El que genera la condición para el comportamiento de la bomba, con esto yo le voy a generar una condición para que la bomba tenga un comportamiento, o sea, yo estoy generando la situación, con esto, cuando yo estoy haciendo esta acción estoy generando un comportamiento de la bomba que para mí es el indicador de lo que suceda.

Estos enunciados son de interés ya que el participante 1 —Eduardo— puede estar dando cuenta de una comprensión del papel de los instrumentos como generadores de condiciones para que se dé el fenómeno del vacío, a la vez que se percibe gran relevancia del rol del sujeto, el

cual tiene parte activa en la construcción de fenomenologías. Las ideas de este participante se complementan o se refuerzan durante el desarrollo de esta sesión cuando se pregunta por el papel de la jeringa en la disputa entre Pascal-Noel, frente a lo que argumenta:

Para mí, desde el punto de vista cualitativo, va a hacer lo que digo, un medio de verificación de algo, a donde quiera llegar o lo que quiera, pues yo sigo diciendo que es un medio porque me permite esa situación o ese puente, como decía ahora, entre lo que estoy pensando y lo que pueda suceder. Así de pronto no lo pueda comparar con un antecedente o algo, pero si espero que suceda algo, estoy utilizando esto que para mí sería un medio de verificación, un medio de experimentación, yo lo adopto más como desde esa parte (*Respuesta de Eduardo. Sesión 3, socialización actividad experimental: 28/02/14*).

Nótese cómo esta idea presenta la imagen del instrumento o proceso de medida como posibilidad de relación entre lo teórico (lo que se piensa) y lo sensible (los fenómenos). De modo complementario, este mismo participante hace importantes reflexiones sobre el rol de la experimentación en el ámbito escolar. Durante la socialización correspondiente a la sesión 3, el participante comienza a considerar la flexibilización de las prácticas de laboratorio escolares, al resaltar la importancia de abordar un determinado fenómeno desde diferentes perspectivas explicativas y el hecho de que estas diversas miradas pueden llegar a ser más con-

sistentes y coherentes a medida que el estudiante va organizando y construyendo el fenómeno que está estudiando:

[...] En un momento de una reunión de área, o algo, miraremos como una directriz o un camino frente a la situación, porque uno hace una práctica de laboratorio y las estudiantes se preocupan porque les tienen que dar el *resultado*, siendo que en la guía aparece algo que podría suceder, ¿cierto?, pero si no les da, es un problema, y entonces es cómo orientar esa parte, para mirar que vamos a hacer esto y podría suceder que no dé, pero no tiene que ser así rígido, o sea, no te tienen que dar, porque también pasó lo de la dilatación; todas las cintas no eran iguales, entonces, preocupadas porque a mí no se me dilató, a mí lo que hizo fue que se enrolló así, una cosa impresionante, un estrés, porque eran unas estudiantes que son muy juiciosas, nerviosas, entonces es “profesor lo voy a hacer otra vez”; pero mira más bien la explicación de por qué te da así, entonces es muy chévere eso (*Respuesta de Eduardo. Sesión 3, socialización de las preguntas orientadoras: 28/02/14*).

Así mismo, al realizar un seguimiento a las respuestas dadas por la participante que denominaremos 3 al cuestionario escrito de la sesión 5, se puede indicar que ella va constituyendo un imaginario de los instrumentos como condición de posibilidad de los fenómenos, y el lenguaje especializado para describirlos como un consenso sobre las características que se le pueden atribuir:

El papel de los instrumentos en la experimentación de las explicaciones sobre la

repulsión eléctrica es una nueva forma de ver el mundo, diferente al de las teorías, existe un saber práctico que se expresa al manipular los instrumentos, en la búsqueda de efectos y al establecer relaciones entre las ideas (*Respuesta de Berni. Sesión 5, cuestionario: 9/04/14*).

Frente a esta misma pregunta, sobre el papel de los instrumentos y la experimentación en las explicaciones sobre la repulsión eléctrica, se encuentra una matización en los argumentos que hace el participantes 2:

Digo que es preciso hablar de materiales, los cuales en la experimentación juegan un papel muy importante, ya que facilitan hacer interpretaciones sobre el comportamiento de diferentes cuerpos en procesos prácticos. Estos se pueden utilizar bien sea para establecer nuevos enunciados o simplemente para comprobar y/o refutar algo ya estipulado (*Respuesta de Jorge. Sesión 5, cuestionario-pregunta: 9/04/14*).

Por tanto, se puede considerar que para los participantes los instrumentos permiten establecer nuevos enunciados a la vez que se comprenden como posibilidad de construcción de los fenómenos que son estudiados. Cabe señalar que los argumentos iniciales de los participantes fueron puestos a prueba con cada una de las lecturas de los fragmentos originales y las reflexiones adelantadas. En este sentido, las actividades de socialización con base en las preguntas orientadoras sobre estos textos fungieron como elementos desestabilizadores que generaron dife-

rencias de opinión y suscitaron contraargumentos y nuevos replanteamientos.

### **Conclusiones. Potencialidades de la propuesta**

A través de los análisis adelantados se pretende contribuir a desvirtuar aquella imagen del conocimiento científico a partir de la cual se ha propiciado una clara disociación entre la teoría y el experimento, así como también una separación entre estas dos dimensiones con el sujeto que experimenta. Se espera que estos análisis contribuyan a cualificar la enseñanza de las ciencias, en la medida en que se asume que pensar y abordar el problema de la experimentación en la clase de ciencias está necesariamente determinado y condicionado por la particular relación que el docente establece con el saber que enseña.

La propuesta de enseñanza de las ciencias en torno a la experimentación, dirigida a la formación de profesores y contextualizada con los aportes mencionados, se constituye en un proceso de recontextualización de saberes, estrechamente ligado a lo que podría denominarse la *construcción de la historicidad de las ciencias*. La historia, la epistemología y la filosofía de las ciencias, desde esta perspectiva, dejan de ser un referente externo en la formación de los profesores para convertirse en disciplinas que contribuyen sustancialmente a su formación como sujetos culturales por cuanto, ade-



más de permitir dilucidar la naturaleza y la estructura de las narraciones científicas, proveen las condiciones para vincularlos a los procesos de construcción de significados y sentidos asociados a los procesos de enseñanza y aprendizaje.

En particular, el uso de la historia y la epistemología de las ciencias fue el escenario idóneo para resaltar cualidades de las actividades experimentales como la reproducción y el análisis de efectos asociados a la electrificación (atracción y repulsión), el diseño, la construcción y el uso de indicadores a propósito de la repulsión eléctrica, y algunas experiencias de la neumática con base en consideraciones sobre la controversia Pascal-Noel. De este modo, las actividades experimentales escolares adquirieron un nuevo significado: un medio para la construcción y la comprensión de los fenómenos. Estas actividades también movilizaron el desarrollo de procesos epistémicos vinculados con los elementos discursivos, razonados y contruidos a medida que se iban haciendo modificaciones y sofisticaciones a las consideraciones sobre las dimensiones que forman parte del proceso científico. En efecto, las actividades orientadas hacia la comprensión de las formas como se desarrollaron los fenómenos pudieron incidir en el fortalecimiento de temáticas en el campo de la física, específicamente en los fenómenos eléctricos y la neumática, ayudando a comprender los diferentes modelos explicativos en sus contextos particulares como una interpretación de ese fenómeno, evitando una enseñanza

ecéctica de contenidos fuera de lugar. Igualmente, la proximidad al pensamiento y las perspectivas explicativas de los científicos abordados mediante la lectura de algunos de sus textos permitió humanizar la actividad científica, dotarla de significados, momentos, contextos, motivaciones, pensamientos, intenciones e intereses que forman parte de la idiosincrasia humana y que son el motor de la empresa científica.

Otra contribución de esta propuesta es que los docentes participantes lograron repensar las circunstancias en las que se consolidan las teorías que enseñan, de esta manera pueden permear a otros docentes sobre la forma como se relacionan con la ciencia y el conocimiento, y desarrollar sus propias iniciativas en el aula para el abordaje y desarrollo de los contenidos a enseñar. Este aspecto va a redundar en la construcción y la revisión permanente de los planes de área, así como en la posibilidad de dar nuevos significados al currículo y a las prácticas educativas.

Los aportes metodológicos se encuentran plasmados en el diseño del material educativo para el desarrollo de ejercicios de aula centrados en narrativas históricas. La búsqueda, selección y adaptación de este material obedece a un proceso serio y juicioso, motivado por la convicción de que este tipo de reflexiones permite resignificar la actividad científica como un proceso dinámico en el que convergen y se reconocen a la par elementos experimentales y teóricos como fuentes de conocimiento.

Sin duda, todo lo anterior incide de manera favorable en las implicaciones que trae para un docente la posibilidad de repensar las circunstancias en las que se consolidan las teorías que enseña, al considerar la actividad experimental en el aula como una posibilidad de ahondar en la comprensión de fenómenos, analizando la construcción y pertinencia de otras posibles explicaciones en otros contextos y en nuevas circunstancias que antes no se habían valorado, asumiendo de forma reflexiva las explicaciones que brindan los libros de texto, buscando que los con-

tenidos que allí se encuentran sean comprendidos como una posible explicación entre otras probables.

Finalmente, esta propuesta pedagógica incidió en un proceso de transformación del pensamiento de los participantes, dado que dio paso a la comprensión de la dinámica científica como una actividad de construcción de marcos explicativos relacionados con el propósito de delimitación y organización de fenómenos físicos, susceptible de ser reinterpretada y resignificada en los contextos escolares.

### Referencias bibliográficas

- Acevedo-Díaz, J. A. (2008). El estado actual de la naturaleza de la ciencia en la didáctica de las ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 5(2), 134-169.
- Acevedo-Díaz, J. A., Vásquez-Alonso, A., Manassero-Más, M. A. y Acevedo-Romero, P. (2007). Consensos sobre la Naturaleza de la Ciencia: fundamentos de una investigación empírica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 4(1), 42-66.
- 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.
- Dufay, Ch. F. (1747). *Quatrième mémoire sur l'électricité. De l'attraction et répulsion des corps électriques*. Recuperado de <http://www.ampere.cnrs.fr>. [Traducción libre de Ángel E. Romero-Chacón].
- Einstein, A. (1983). *Sobre la teoría de la relatividad y otras aportaciones científicas* (traducción de José M. Álvarez Flores y Ana Goldar). Madrid: Sarpe.
- Euler, L. (1762/1990). *Cartas a una princesa de Alemania sobre diversos temas de física y filosofía* (edición y traducción de Carlos Mínguez Pérez). Zaragoza: Universidad de Zaragoza.
- Ferreirós J. y Ordóñez J. (2002). Hacia una filosofía de la experimentación. *Crítica. Revista Hispanoamericana de Filosofía*, 34(102), 47-86.
- Franklin, B. (1747/1963). Extracto tomado de una carta dirigida a Sr. P. Collisons fechada del 1 de junio de 1747, publicada en *Philosophical Transactions*. En Magie, W. F. (ed.), *A Source Book in Physics* (pp. 400-402). Cambridge: Harvard University Press. [Traducción libre de Ángel E. Romero-Chacón].
- Hacking, I. (1996). *Representar e intervenir* (traducción de Sergio F. Martínez). México, D.F: Paidós.

- Heisenberg, W. (1985). *La imagen de la naturaleza en la física actual*. Barcelona: Orbis.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación*. México: McGraw Hill.
- Höttecke, D. y Silva, C. C. (2011). Why Implementing History and Philosophy in School Science Education is a Challenge: An Analysis of Obstacles. *Science & Education*, 20, 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.
- Latour, B. y Woolgar, S. (1995). *La vida en el laboratorio: la construcción de los hechos científicos*. Madrid: Alianza.
- Lavoisier, A.-L. (1982). *Tratado elemental de química*. Introducción y notas de Ramón Gago Bohórquez. Madrid: Alfaguara.
- Leitão, S. (2011). O lugar da argumentação na construção do conhecimento em sala de aula. En Leitão, S. y Damanovic, M. (orgs.), *La argumentación en la escuela*. Campinas: Pontes.
- Matthews, M. R. (1994). Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), 255-277.
- Moura, B. A. y Silva, C. C. (2013). *A abordagem multicontextual da história da ciência na formação de professores de física: análise de um estudo de caso*. Comunicación en el IX Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, Girona, 9-12 de septiembre de 2013.
- Pickering, A. (1995). *The Mangle of Practice. Time, Agency and Science*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Romero, Á. (2013). Reflexiones acerca de la Naturaleza de las Ciencias como fundamento de propuestas de enseñanza: el caso de la experimentación en la clase de ciencias. En Romero, Á., Henao, B. y Barros, J., *La argumentación en la clase de ciencias. Aportes a una educación en ciencias en y para la civilidad fundamentada en reflexiones acerca de la naturaleza de las ciencias* (pp. 71-98). Medellín: Universidad de Antioquia.
- Romero, Á. y Aguilar, Y. (2013). *La experimentación y el desarrollo del pensamiento físico. Un análisis histórico y epistemológico con fines didácticos*. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.
- Saito, F. (2006). O vácuo de Pascal versus o éther de Noel: ¿uma controvérsia experimental? *Circumscribere*, 1, 50-57.
- Schrödinger, E. (1980). *La naturaleza y los griegos* (traducción y prólogo de Víctor Gómez Pin). Barcelona: Tusquets.
- Shapin, S. (1990). Une pompe de circonstance. La technologie lettériare de Boyle. En Callon, M. y Latour, B. (eds.), *La science telle qu'elle se fait*. París: La Découverte.
- Stake, R. E. (2010). *Investigación con estudio de casos*. Madrid: Morata.
- Torres-Assis, A. K. (2010). *The Experimental and Historical Foundations of Electricity*. Montreal: C. Roy Keys Inc.
- Tatón, R. (1975). *Historia general de las ciencias. La ciencia moderna (de 1440 a 1800)*, vol. 3. Barcelona: Destino.

## Capítulo 3

### Los análisis históricos y epistemológicos en la enseñanza de las ciencias.

### Una reflexión centrada en la experimentación sobre los fenómenos cromáticos

Érika Tobón Cardona

Ángel Enrique Romero-Chacón

#### Introducción

¿Qué hacemos los maestros de ciencias ante la pregunta por el qué enseñar?

Usualmente tomamos un libro de texto y resolvemos el asunto. La ciencia está allí compilada, los hechos científicos y la historia ya están predeterminados y el maestro es solo un reproductor. La reflexión sobre la ciencia que se enseña y el papel del maestro en ella constituyen un problema de investigación que se ha postergado durante décadas. La relación que el maestro establece con el conocimiento científico es parte fundamental del problema en cuestión y la complejidad de la mencionada relación se hace evidente en

la reproducción de los contenidos a enseñar año tras año, década tras década.

En este sentido, Romero y Aguilar (2013) consideran que “los actuales ‘contenidos’ por enseñar, tanto en educación media como en los cursos introductorios universitarios, no varían sustancialmente de los contenidos establecidos hace más de cinco décadas” (p. 2). Esta situación está presente en las instituciones formadoras de maestros, agravando el problema y perpetuando su permanencia. La profesora Ayala (2006) menciona que “los cursos de ciencias a través de los cuales los maestros aprenden los contenidos disciplinares han sufrido muy poca transformación” (p. 20), y resalta la in-

variabilidad de los contenidos científicos no solo en programas escolares de educación básica y media, sino también en los programas de formación de maestros. Esta invariabilidad supone que la ciencia se asume como algo atemporal y estático. Si los contenidos disciplinares tienen algún cambio, es para hacerlos “accesibles”, para “acercarlos” a los estudiantes. Este cambio no implica una reflexión sobre los contenidos, sino el manejo de fórmulas, la memorización de definiciones y la elaboración de estrategias didácticas para facilitar su comprensión. Shulman (1986) menciona que la investigación sobre la comprensión y la representación de la ciencia por parte de los profesores en el proceso de enseñanza está aún en sus comienzos, pues no se ha considerado el contenido curricular como un rasgo fundamental del contexto, como un rasgo digno de estudiarse en detalle.

En síntesis, se enseña y se aprende algo que no sabemos qué es. Entre las diversas consecuencias que esto genera, Malagón, Ayala y Sandoval (2013) consideran que “los estudiantes tienen dificultades puesto que, generalmente, manejan algoritmos que si bien les permiten operar las relaciones que se establecen entre variables, no les aportan mayor información sobre la organización de las fenomenologías abordadas que sintetizan” (p. 10). En la anterior expresión parece que la mirada se dirige hacia la organización de las fenomenologías... una frase aún sin significado para estudiantes y para maestros. ¿Qué es organi-

zar la fenomenología de algo? Retomando a Malagón *et al.* (2013), construir una fenomenología es describir, interpretar y comprender la organización de experiencias y observaciones intencionadas de un fenómeno. Esta organización está acompañada de una comprensión conceptual y de una disposición experimental.

¿Aprende el maestro a organizar su experiencia relativa a los fenómenos que considera en la enseñanza de la ciencia? ¿Ha pensado en la coherencia entre esta experiencia y la ciencia que enseña? ¿Ha considerado seriamente las ideas de otros (estudiantes, científicos, colegas) como una manera de enriquecer su propia experiencia? ¿Ha reflexionado sobre el papel de la actividad experimental en su propia organización fenoménica? No se discute que la ciencia está relacionada directamente con el estudio de fenómenos, para el caso de la física, fenómenos físicos. No se discute tampoco que en la enseñanza de las ciencias estos fenómenos son de fundamental importancia. Sin embargo, consideramos que la reflexión sobre la relación de la experiencia (de maestros y estudiantes) con estos fenómenos debe investigarse.

Lo anterior permite plantear las siguientes preguntas: ¿cómo es la relación que el maestro establece con la ciencia que enseña? ¿Qué papel tiene la experiencia del maestro (relativa a los fenómenos) en la organización de contenidos? ¿Cómo el estudio de las ideas de científicos, estudiantes y colegas puede contribuir a la reflexión sobre la organización de las fe-

nomenologías? ¿Cómo la experiencia y la observación intencionada de los fenómenos pueden redefinir los contenidos a enseñar? ¿Qué papel tiene allí la actividad experimental?

Con la intención de abordar y dar respuesta a estos cuestionamientos, presentamos un estudio histórico y epistemológico sobre los fenómenos cromáticos y el análisis de la propuesta surgida a partir de este en la formación inicial de maestros de física. Este texto explora posibles respuestas a las anteriores preguntas tomando como centro de reflexión los fenómenos cromáticos, es decir, los relativos al color. Esta clase de fenómenos no son considerados con amplitud en la enseñanza tradicional, y además exigen un papel protagónico de quien los estudia pues están en dependiente relación con el órgano de la visión. Los fenómenos cromáticos se prestan para situar al maestro como partícipe de la cultura científica, como constructor de conocimiento.

### **Sobre la construcción de los fenómenos cromáticos**

En su acepción más común, en el contexto de la enseñanza, se asume que la luz está constituida por rayos y en consecuencia se representa por medio de segmentos rectilíneos. Esta representación da a la noción de luz una estructura geométrica por medio de la cual se formaliza la fenomenología identificada. Se habla por ejemplo de la reflexión y la refracción de la luz,

y se asocian a estos efectos desviaciones de segmentos y mediciones de ángulos y longitudes. Similares consideraciones se dan cuando la luz se representa a través de una función de onda. En este caso, la mirada se dirige al análisis de la amplitud, la frecuencia, la longitud de onda, y a todas aquellas características atribuidas a la función de onda como objeto matemático. En esta última, la idea de rayo queda subsumida matemáticamente por la onda como representación de la luz a través del concepto “frente de onda”.

A pesar de que no es posible hacer inteligible el mundo físico si no es a través de las representaciones que tenemos de él, lo cierto es que estas representaciones usuales de la luz restringen la comprensión de los fenómenos luminosos a su dimensión geométrica o analítica. Así, en el ámbito de la enseñanza, esta forma de asumir la luz y sus posibles representaciones ha terminado privilegiando una “mirada teoricista” de los fenómenos luminosos, alejada de su nexos con las experiencias de los sujetos. Generalmente la enseñanza no se ocupa de ampliar u organizar la fenomenología en torno a la luz y el color, sino de reproducir los modelos que de ella se tienen. Se olvida el fenómeno mismo para concentrarse en los modelos de la naturaleza de la luz.

Teniendo en cuenta que el modo de significar y asumir el conocimiento científico (sus contenidos, métodos y formas de producción) determina en gran medida el modo particular de enseñarlo, es claro que si la reflexión sobre los fenóme-

nos luminosos se orienta hacia cuestiones relativas a la naturaleza de la luz, la enseñanza de estos contenidos posee una dirección ya predeterminada: aquella en la que la experiencia del sujeto es anulada por el dogma de la teoría. Concordamos, en este sentido, con Gagliardi, Giordano y Recchi (2006) cuando afirman que usualmente en la enseñanza de la física la descripción e interpretación de los fenómenos luminosos está muy alejada del conocimiento común y de la experiencia de cada sujeto. En este contexto, la pregunta ¿qué es la luz? ha orientado la organización de los contenidos a enseñar. Por el contrario, cuestionamientos asociados a la experiencia sensible del sujeto tales como la visión, la relación entre claridad-oscuridad y sombra-color, así como la comprensión de las diversas perspectivas que sobre este fenómeno físico se han desarrollado en la historia del pensamiento, son poco o nada importantes. En estos enfoques usuales, la luz es un objeto “natural” que no depende del sujeto que lo piensa, ni del ojo que lo acaricia, ni de la cultura que lo crea.

Surgen, en este orden de consideraciones, algunos cuestionamientos: ¿existen otras maneras de concebir los fenómenos luminosos? ¿Qué otros elementos diferentes a la noción de rayo pueden servir para construir tales fenómenos? ¿Cuál es el papel de la visión y la percepción del color en la organización de esta clase de fenómenos?

Los fenómenos cromáticos son parte de los fenómenos luminosos y son aquellos

relativos al color. Estos adoptan las explicaciones generales que para los fenómenos luminosos se tienen, mencionadas previamente. Así pues, adoptan también las dificultades de centrarse en la naturaleza de la luz y en una mirada “teoricista” del fenómeno. A pesar de esto, es preciso mencionar que los fenómenos cromáticos no pueden suponerse resueltos, sino que deben construirse como un hecho científico.

### **La construcción de los fenómenos cromáticos desde Goethe**

Los fenómenos relativos al color han sido material de análisis para muchos científicos: Platón, Boyle, Descartes, Newton, Goethe, Helmholtz, Land, Hegel, Diderot, los aristotélicos y muchos otros (De Hosson, 2004; Goethe, 1945; Ribe y Steinle, 2002; Txapartegi, 2008; Werle, 2012). En los experimentos adelantados por ellos, ha sobresalido el uso de prismas, líquidos traslúcidos, vidrios, lupas y observaciones astronómicas, así como la generación de sombras y espectros de colores y la reflexión sobre la visión y el ojo, entre otros aspectos. En particular, Newton y Goethe estudian estos fenómenos a principios del siglo XVIII en Inglaterra y a principios del siglo XIX en Alemania, respectivamente. Estas dos formas de organizar los fenómenos cromáticos son interesantes porque, para el caso de Newton, su mirada fundamenta la forma actual (al menos en la enseñanza de la física) como se conciben estos fenómenos. Para el caso de Goethe,

su estilo de pensamiento obedece a una manera diferente de concebir la naturaleza, en la que el sujeto que observa el color es el protagonista.

Son muchas las situaciones en las que el color amerita ser reflexionado. Un mismo objeto toma tonalidades diferentes: por ejemplo, las montañas pobladas de árboles que se encuentran lejanas tienden al azul con respecto a las cercanas, que tienden al verde. Si está de noche, estas montañas son negras e irreconocibles. Si nos ponemos unos lentes oscuros, se observan más oscuras. Si los árboles se incendian, ya las montañas no serían verdes. Si quien observa es daltónico, le parecen de color café. Si las miramos fijamente durante algunos segundos y luego observamos un fondo blanco, nos parece notarlas de otro color.

### ***Visión y naturaleza***

El fenómeno de la visión estuvo asociado a las funciones fisiológicas del ojo como condición para ver. Según Taton (1972), luego de Kepler se separó el problema óptico del problema fisiológico de la visión y esto supuso un logro para explicar el fenómeno. No obstante, también se convirtió en un obstáculo, pues se disoció al sujeto de la acción de “ver”. Entonces al ojo, como órgano de la visión, se le otorgó un papel pasivo, únicamente en función del reconocimiento de distancias y de su posición con respecto a los objetos que se ven.

En la perspectiva goetheana, el sujeto y su historia tienen un papel protagónico

en la visión. Para Goethe (1991), “Aunque colores y luz guardan relación exacta entre sí, una y otros pertenecen por completo a la Naturaleza, ya que por medio de ellos place a la Naturaleza revelarse de un modo especial al sentido de la visión” (p. 478). Goethe, antes de pensar en el color y en los fenómenos cromáticos que lo constituyen como objeto científico, reflexiona sobre la relación entre el ojo que percibe y la naturaleza que existe para el sujeto en objetos coloreados. Para las observaciones del daltónico no se encuentra una falla del ojo, sino una manera diferente de ver el color, que a su vez determina una manera diferente de conocer la naturaleza. Por ejemplo, para el caso más común de daltonismo, el azul cielo y el rosa son el mismo color; no se diferencia entre el rojo de la sangre y el café de la tierra. Podría decirse en este sentido que esto conlleva la elaboración de formas diferentes de significar objetos como la sangre, la tierra, las rosas y el cielo. En ocasiones, los daltónicos se adaptan a las apreciaciones de color socialmente establecidas señalando que el cielo es azul, la tierra café; pero estas apreciaciones no obedecen a lo que observan, sino a lo que se acostumbra a responder. En esta medida, la naturaleza que conocen es una naturaleza diferente a la que conocen los demás, es necesario para ellos detallar aún más las formas y las texturas de los objetos. Goethe propone diversos experimentos con daltónicos y personas que poseen dificultades visuales para estudiar la manera como ellos observan el mundo,



como ellos observan el color de las cosas. El estudio del fenómeno de la visión, para Goethe, incluye diversos elementos que dependen del contexto del sujeto que los construye, de su experiencia, de sus ojos, de su cultura y de su forma de asumir el mundo.

Miremos el siguiente ejercicio. Este ejercicio es parte del taller número 2 (Los colores fisiológicos) de la propuesta pedagógica diseñada, al cual se alude más adelante. Es uno de los experimentos propuestos por Goethe en su análisis de los colores fisiológicos (Goethe, 1991, numeral 30). Al observar la siguiente imagen (figura 3.1), ¿qué se observa en el contorno del círculo negro?



**Figura 3.1** Círculo negro en fondo gris

En la gama de respuestas, lo común es una pregunta: ¿lo que observo es lo que espera que responda? ¿Ese... ese... algo que veo en el contorno entre el negro y el fondo gris es la respuesta a la pregunta? En este punto es necesario estar con alguien más y contrastar lo que se ve, o qui-

zás poder preguntarle a aquel que diseñó este ejercicio. Goethe lo propone con la intención de que cada uno mire con atención. Se percibe una especie de aureola, contorno brillante, resplandor, arco luminoso, borde resplandeciente,<sup>1</sup> entre otros calificativos. Este resplandor es una demanda del ojo: ante la oscuridad pide la luz; ante la luz pide la oscuridad. Esta demanda es diferente para cada uno, a tal punto que algunos no logran identificar el resplandor. Todos no vemos lo mismo, depende de nuestra visión, de nuestros ojos, de nuestra historia.

### ***El color como contraste entre claridad-oscuridad***

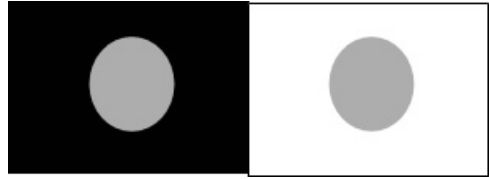
¿Cuáles son las condiciones para observar los colores? Usualmente, un ojo sano, presencia de luz y objetos. Sin alguno de estos tres elementos no es posible observar. Sin embargo, contando con un ojo sano, objetos para observar y presencia de luz tampoco se garantiza la posibilidad de percibir el color. Si nos encontramos en un campo abierto, ante la luz incandescente del sol, no se puede observar. Es necesario mirar al suelo o “hacer sombra” a nuestros ojos con la mano para poder notar los objetos. Por esta razón, podríamos decir que es necesaria la sombra, es necesario un poco de oscuridad. En situaciones extremas, es decir, en la completa oscuridad y en la completa claridad, no se diferencian los colores, no se observa. En situaciones moderadas de claridad y oscuridad los colores de los objetos se modifican, como a

medida que transcurre el día por ejemplo. Si miramos con atención, el color de los árboles es de un verde más intenso, más vivo, a mediodía. Ya en el atardecer ese verde tiende a ser un verde opaco y más oscuro. En otras palabras, no podemos percibir el color sino en una determinada relación entre claridad y oscuridad.

Para Goethe (1991), “la claridad, la oscuridad y el color constituyen juntos aquello que para la vista diferencia los objetos y sus diversas partes” (p. 478). Este autor considera el color como el contraste entre la claridad y la oscuridad. La variación de este contraste determina diferentes colores para los objetos. El contraste da la idea de forma de los objetos y la relación de contraste es básicamente una relación de claridad y oscuridad. A medida que cae la noche, es decir, a medida que aumenta la oscuridad, las fronteras entre colores se desdibujan y no permiten la observación de imágenes; de algún modo, los colores tienden al gris, a la opacidad, a la igualdad, y dejan de ser observables. Cuando se observan los colores, estos son más claros que la oscuridad y más oscuros que la claridad. No es una observación aislada sino en contexto, en el contexto del contraste.

Consideremos el siguiente ejercicio propuesto por Goethe. En la imagen (figura 3.2), ¿cuál de los círculos grises es más oscuro? ¿Cuál es más claro?

En palabras de Goethe (1991), el negro es el lugarteniente de la oscuridad y el blanco el representante máximo de la claridad. En la oscuridad el ojo pide



**Figura 3.2** Círculo gris en fondo negro y en fondo blanco

la luz y en la claridad pide la oscuridad. Acaso, ¿no parece que el gris de la izquierda es más claro que el gris de la derecha? Pues para este ejercicio se eligió la misma tonalidad de gris, pero el gris de estos círculos depende del fondo en el que se encuentran.

Los colores de los objetos no son algo aislado del contexto en el que se ubican, ya sea un contexto tendiente a la oscuridad o a la claridad. Son en esencia más claros que lo oscuro y más oscuro que lo claro. Los colores no son una constante, varían dependiendo principalmente de la relación claridad-oscuridad en la que estén inmersos. Al ser los colores más claros que lo oscuro, ¿podrían observarse en la completa oscuridad? Al ser los colores más oscuros que lo claro, ¿podrían observarse en la completa claridad?

Ahora bien, ¿cuál es el elemento primario que permite la creación de los fenómenos cromáticos desde la mirada goetheana? No es la luz, ni la oscuridad, ni su forma, ni su naturaleza, sino el color y su percepción. El color como contraste entre claridad-oscuridad es el elemento epistemológico que permite construir los

fenómenos cromáticos desde la mirada goetheana, puesto que a través de este principio se estudian las sombras, la relación claro-oscuro, la gama de colores, la relación de los colores con el gris, el papel del blanco y el negro, los colores fisiológicos, los colores físicos y los colores químicos. El color se percibe siempre en relación con el contexto en el cual se enmarca y este está determinado por la relación claridad-oscuridad.

### ***Principios asociados a la percepción del color***

Con el propósito de organizar los fenómenos cromáticos, Goethe centra su atención en el color como concepto primario y estructurante. Propone organizar fenomenicamente todas aquellas experiencias frente al color y por ello surge la pregunta ¿qué principios permiten organizar el fenómeno cromático? Para resolverla, propone diferenciar tres tipos de color: los colores *fisiológicos*, que forman parte de la vista; los colores *físicos*, derivados de medios materiales; y los colores *químicos*, que son parte integrante de los objetos.

Las sombras coloreadas son un fenómeno que corresponde a los colores fisiológicos. Lo que normalmente las teorías científicas han llamado “ilusión óptica” puede comprenderse desde la perspectiva goetheana como una situación en la que los colores son parte de la vista. En este sentido, corresponde al estudio de los colores fisiológicos el hecho de percibir de mayor tamaño un objeto blanco en

un fondo negro que un objeto negro en un fondo blanco. Los colores químicos son aquellos que normalmente asumimos como los colores de los objetos. Se fijan permanentemente a través de la pintura o de procesos químicos, y usualmente son tan permanentes que pueden transferirse a otros. Cuando ponemos una superficie coloreada al sol y un objeto traslúcido cerca, notamos cómo el color se comunica al objeto. Los procesos de tintorerías, litografías y pinturas corresponden a procesos con colores químicos: mezclas, decoloración, continuidad del color en el tiempo y demás.

Para los colores físicos tenemos todos aquellos en los cuales un espacio material está entre el observador y los objetos. Este espacio puede ser un gas, el vidrio, el agua, un prisma, la atmósfera, entre otros. Goethe realizó varios experimentos con prismas, imágenes de diversos colores y formas, y el observador en diversas posiciones. Los limbos coloreados son franjas de colores que comúnmente observamos en las fronteras entre ellos (si observamos con atención), por esta razón nos parece en algunos momentos que los bordes de las imágenes no están bien definidos. Al utilizar el prisma, la observación de estos bordes se magnifica y su estudio se hace más cómodo. Goethe presta especial atención a aquellos colores observados en estas franjas y bordes a través de un prisma transparente.





A continuación se describen las imágenes de rectángulos observadas a través de un prisma (columna al extremo dere-

cho) para algunos experimentos propuestos por Goethe (figura 3.3).





En la frontera entre el blanco y el negro emerge el amarillo, que se hace más denso hasta el naranja casi rojo. En la frontera entre el negro y el blanco emerge el cian, que se hace más denso hasta obtener el violeta. El violeta es la exaltación del azul, como el rojo anaranjado es la exaltación del amarillo. Haciendo los

rectángulos más angostos las franjas de colores se aproximan hasta unirse y obtener lo siguiente (figura 3.4).

En la unión del azul y el amarillo se forma el verde. En la unión del rojo anaranjado y el violeta se forma el magenta. Estos seis colores organizados en el círculo cromático permiten explicar todos los procesos alusivos a los colores, ya sean colores fisiológicos, físicos o químicos (figura 3.5).

	Imagen	Imagen observada
Rectángulo blanco en fondo negro		
Rectángulo negro en fondo blanco		

**Figura 3.3** Rectángulo blanco en fondo negro y rectángulo negro en fondo blanco observados a través del prisma

	Imagen	Imagen observada
Rectángulo blanco delgado en fondo negro		
Rectángulo negro delgado en fondo blanco		

**Figura 3.4** Rectángulo blanco en fondo negro y rectángulo negro en fondo blanco observados a través del prisma (angostos)



**Figura 3.5** Círculo cromático de Goethe

Goethe organizó estas y otras observaciones en el círculo cromático. En la parte superior, el verde, que se forma de la unión entre el azul y el amarillo. El azul se va haciendo más denso hasta obtener el violeta, y a su vez el amarillo se va volviendo más opaco hasta convertirse en naranja casi rojo. En la parte inferior está el magenta como la unión entre el violeta y el rojo anaranjado. Según Goethe, los colores opuestos son colores complementarios y su unión representa el equilibrio. La naturaleza, junto con el órgano de la visión como parte de ella, siempre buscan el equilibrio. El círculo de colores recoge potentemente la propuesta de este autor y es utilizado actualmente para todas las combinaciones de color, desde pigmentos hasta la combinación de “luces de colores”.

### ***La experimentación como generadora de conocimiento***

Goethe y su teoría del color son ejemplo de una forma diferente de asumir la ex-

perimentación en comparación con la experimentación orientada por la teoría. En su texto “Esbozo de una teoría de los colores” de 1810, describe un gran número de experiencias y experimentos sobre la percepción del color. Su texto se divide en dos partes: parte didáctica y parte polémica. En la parte didáctica, estudia los colores fisiológicos, físicos y químicos, las relaciones con otras disciplinas y el efecto sensible y moral del color. La base interpretativa de los fenómenos cromáticos la construyó simultáneamente con los hechos experimentales. Goethe no se preocupa por definir cosas sino por percibir efectos. Él dice (1991): “quizás una historia completa de estos efectos comprendería a lo mejor la esencia de dicha cosa” (p. 11). Y así se dedicó a observar, a explorar, pero no a observar contemplativamente: “el solo mirar no lleva a ninguna parte. Todo mirar se transforma en considerar, todo considerar en meditar, todo meditar en relacionar; a poco que se mire con atención ya se está en plena actividad teorizante” (Goethe, 1991, p. 12).

¿Y qué observó? Objetos de un color e igual forma en distintos fondos, objetos de distinto color en fondos de variadas tonalidades grises, la ropa negra o blanca en las siluetas de diferentes personas y en distintos lugares, los marcos de las ventanas en la madrugada, la luna en sus distintas fases, las imágenes que se forman en la retina y el sol, solo por mencionar algunas de las experiencias y experimentos que sugiere en los primeros 24 pará-

grafos de su texto. Puede considerarse entonces que esta exploración del fenómeno es una simple observación aislada. Sin embargo, en los 920 párrafos de su obra expone una gran variedad de experimentos agrupados según intenciones específicas.

Igualmente, en toda su propuesta Goethe describe una gran variedad de experimentos, clasificándolos en grupos entre los cuales varía ciertas condiciones y establece conexiones diversas. Esto con la intención de encontrar regularidades y a la vez construir su representación. Ese abordaje exploratorio de los fenómenos cromáticos, ese pensar el color en distintos contextos, esa intención de relacionar los experimentos entre sí, más que un experimento aislado con una teoría general, es la principal característica de la obra de Goethe. La repetición y la variación de una gran multiplicidad de experimentos es esbozada organizadamente en su propuesta de la teoría del color.

Por lo común, y siguiendo la tradición cartesiana, se separa el pensar del hacer, la mente del cuerpo, la naturaleza de la cultura. No obstante, en esta forma alternativa de significar la experimentación es claro que en la acción hay pensamiento (García, 2011). En particular, y siguiendo a Steiner (2011), para la mirada de Goethe sobre los fenómenos cromáticos no se puede separar el mundo sensible del mundo de las ideas; Goethe argumenta esta dualidad específicamente con la relación entre visión y naturaleza, para la cual no hay separación alguna.

Este pensar en la acción es la génesis de ideas y conceptos, la cual solo se concretiza al ser comunicada (Mach, 1948). Y en estos actos comunicativos donde la abstracción se hace materia, la elaboración de juicios, ideas, descripción de percepciones y demás suponen una construcción conceptual. En cuanto a la observación del color, tenemos que en la descripción de la acción de percibir los colores hay manifestaciones del pensar. Para ejemplificar lo anterior, podemos retomar parte del taller 1 (En compañía del color) y resolver la pregunta ¿de qué color es nuestra piel? Entonces, observamos nuestros brazos con detenimiento, observamos los rostros de quienes nos rodean, recordamos intuitivamente que ya hemos resuelto esa pregunta y concluimos: “Mi piel no es blanca ni oscura ni amarilla. ¿De qué color es mi piel? ¿Cuáles elementos configuran la pigmentación de la piel?”. En este ejemplo, notamos que el apelar a la intuición, a la imaginación o al pensamiento se configura en la acción misma de percibir. Cuando Goethe y los participantes de esta investigación resuelven esta pregunta y realizan otros tantos experimentos, estudian una clase entera de hechos. Para estos hechos es necesario adaptar sus pensamientos y definir nuevas reglas para pensar y percibir el color. Son varias las consecuencias investigativas de asumir la acción y el pensamiento como interrelacionados, pero confiamos con optimismo en que el desarrollo atento de las preguntas y experimentos propuestos permitan esclarecer este supuesto, pues cada lector podrá en-

tender que la lectura exige la acción y que en la acción está el pensar.

### **Formas de ver y su historicidad**

La construcción de los fenómenos cromáticos y el papel de la experimentación en estos no son independientes del sujeto, sino directamente dependientes de su visión de mundo. Lo que observamos no depende estrictamente de los ojos; la visión se configura con la historia y la forma de pensar de cada sujeto. Es común escuchar el dicho: “Cada quien ve lo que quiere ver”, expresando con esto que no se ve únicamente con los ojos físicos. La forma como se observa y se asume el mundo depende de la cosmovisión que cada uno tiene. Para el caso de los fenómenos cromáticos, dos fueron las perspectivas que se estudiaron en esta investigación: la de Goethe y la de Newton. La construcción de los fenómenos cromáticos de Goethe no es solo muestra de una forma alternativa de organizar la observación del color, sino que obedece a una forma alternativa de observar el mundo. Igual sucede en Newton: su *Óptica* no es únicamente una propuesta de organización fenomenológica sino una consecuencia de su particular forma de concebir la naturaleza. No se trata de justificar la teoría newtoniana o goetheana por encima de la otra, para este caso particular —la construcción de los fenómenos cromáticos en uno o en otro estilo de pensamiento—; se trata más bien de estudiar estas perspectivas epistemológicamente.

Las preguntas sugeridas por Fleck (1986) que direccionan el estudio de estas dos perspectivas son las siguientes: ¿qué concepciones estructuran los puntos de vista newtoniano y goetheano? ¿Cómo sus teorías respectivas para los fenómenos cromáticos describen hechos que encajan perfectamente con estas? ¿Cómo se reinterpretan nuevos hechos para hacerlos acordes con los estilos de pensamiento estudiados? Si “En la ciencia como en el arte y en la vida, solo aquello que es realidad para la cultura es realidad para la naturaleza” (Fleck, 1986, p. 81), entonces ¿qué conexiones histórico-conceptuales encontramos en estos dos autores?

En particular, el experimento del cuadrado rojo y azul sirve para comparar epistemológicamente estas perspectivas y aproximarnos a las respuestas para las anteriores preguntas. Este experimento guarda en las explicaciones de sus autores los principios que estructuran cada teoría. El color como el resultado de un grado de refrangibilidad diferente para cada rayo de luz, en el caso de Newton; y el color como elemento primario que configura las observaciones, para Goethe. El experimento consiste en observar un cuadrado rojo y otro azul en fondo negro a través de un prisma triangular (figura 3.6).

Newton describe un experimento que exige diversas disposiciones materiales: un tono para el rojo y para el azul muy específico, un paño en el alfeizar y una ubicación muy precisa para el prisma, “un prisma macizo de vidrio cuyas caras atravesadas por la luz eran planas y cui-



**Figura 3.6** Cuadrado rojo y azul en fondo negro

dadosamente pulimentadas”, entre otras disposiciones. Newton describe que observa lo siguiente (figura 3.7).



**Figura 3.7** Cuadrado rojo y azul observado por Newton a través del prisma

Aquí se ve el cuadrado rojo desplazado con respecto al azul. El autor justifica esta observación en la refrangibilidad de los rayos de luz, indicando que la refrangibilidad de la luz azul es mayor que la refrangibilidad de la luz roja (Newton, 1945, p. 18).

Goethe, por su parte, realiza diversos experimentos con fondos de distinto co-

lor y cuadrados con cualquier tipo de azul o rojo. No necesita el paño negro en el alfeizar ni ciertas condiciones de luz. Al observar a través del prisma nota unos bordes o limbos coloreados, más o menos así (figura 3.8).



**Figura 3.8** Cuadrado rojo y azul observado por Goethe a través del prisma

Goethe argumenta la formación de limbos y bordes en línea con el principio que se describe en la parte *principios asociados a la percepción del color* de este mismo texto. El borde superior rojo que genera el cuadrado rojo se adiciona al mismo haciéndolo parecer desplazado. El borde amarillo se suma al rojo destacándolo aún más. El borde inferior generado por el cuadrado rojo es de un tono gris que se ve opacado por el negro del fondo. Para el cuadrado azul, las franjas que se generan no son azules sino de un violeta y un cian que ensucian (le restan a su característica de ser ese color) el azul del cuadrado. Goethe en su estudio encuentra en los colores de los bordes que se observan



a través del prisma un principio de construcción para toda su propuesta. Este principio supone que los colores fisiológicos, los colores físicos y los colores químicos se adicionan los unos a los otros. Para el caso, los colores de los cuadrados son colores químicos, los colores de las imágenes generadas son colores físicos y se suman de tal modo que el cuadrado rojo se ve desplazado y el cuadrado azul se ve falto de armonía. A través de este principio explica las posibles variaciones de los experimentos que propone.

En el análisis anterior notamos que la disposición material para el experimento varía, lo observado también y la relación entre lo observado y su justificación está claramente diferenciada. Entonces, ¿qué es lo que se ve?<sup>2</sup> ¿Qué observamos cuando, a través del prisma, miramos un cuadrado rojo y azul en un fondo negro? ¿Limbo coloreado o un aparente desplazamiento? Se ve lo que Newton argumenta siempre que el cuadrado tenga un azul muy oscuro. Él mismo da la indicación de la tonalidad para los cuadrados. Si no se sigue esta indicación, el experimento no funciona. Para Goethe, se observan limbo siempre que el observador observe bien, como lo reitera en muchos de sus estudios.

Newton asume el anterior experimento como *crucial*. Es decir que pone fin a toda duda sobre la formación de los colores y supone la base que explica la observación de estos. Para él, es evidente que el desplazamiento de los cuadrados es debido a la refracción de la luz roja y

azul al pasar por el prisma. Él construye el experimento de tal modo que minimiza todas aquellas condiciones que puedan alterar el efecto. Al describir la forma como ha de reproducirse el experimento, es en suma detallista, de tal modo que aquel que falle en su observación es porque no lo realizó tal cual sus indicaciones. Entonces, independientemente del sujeto que percibe, siempre que se sigan tal cual las indicaciones se ha de observar lo mismo. En otras palabras, la reproducción detallada de los experimentos hace que la naturaleza se muestre verdadera e independiente de aquel que observa, es la objetividad pura. Su discurso, catalogado comúnmente como sumamente empírico, es una lectura directa de la naturaleza; en esa medida, los experimentos ofrecen el comportamiento de esta.

Goethe muestra su comprensión del experimento del cuadrado rojo y azul luego de una variada serie de experimentos. Él amplía, varía y complejiza los experimentos. Luego de variarlos extensamente, trata de identificar en ellos principios básicos que permitan analizar estos grupos. Así pues, el sujeto tiene un papel activo al momento de conocer la naturaleza. Es el sujeto quien define el camino, quien dirige su mirada, quien reconstituye su pensar. Goethe pretende determinar los fenómenos en la medida como estos lo determinan a él. En palabras de Goethe, “en todo el mundo sensible, todo depende, en definitiva, de la relación que guardan entre sí los objetos, sobre todo de la que existe entre

el hombre, el objeto terreno más importante, y los demás” (Goethe, 1945, p. 71). El hombre es como la naturaleza: compleja, amplia, manifiesta, indeterminada; además, esta es constituyente del sujeto, visión que el autor ejemplifica y pone en evidencia en la variedad de sus experimentos y en la forma de abordarlos. Goethe considera que el estudio de la naturaleza y sus fenómenos son una obligación, pues el deber de todo hombre es configurar su existencia. Esto se logra por medio de la percepción, pues no se concibe hombre sin un lugar para percibir o un lugar sin un hombre para que lo perciba. La naturaleza está hecha para que nosotros la percibamos y nosotros estamos hechos para percibirla. Pero no solo eso, en ese camino de la percepción, hombre y naturaleza se constituyen.

Comparar las propuestas de Newton y Goethe es importante porque estas se convierten en una excusa para reflexionar sobre nuestra visión de mundo. Es darle un uso diferente a la historia y la epistemología de las ciencias en el que se destaca la experiencia de cada sujeto. Sujetos no del pasado sino del presente y maestros del futuro. Lo que está en juego en todas estas consideraciones no es solo la historia de los fenómenos cromáticos en Goethe y Newton, menos una historia sobre el papel de los sentidos y lo que se ve o lo que ha de verse; es nuestro propio *estilo de pensamiento*. Como dicen Mayrargue y Savaton, “¿no existe detrás de toda opinión científica una posición epistemológica?” (2006, p. 2).

El anterior estudio histórico y epistemológico ha desarrollado planteamientos sobre la construcción de los fenómenos cromáticos, las formas de ver y su historicidad. Es pertinente ahora preguntarse: ¿cómo el análisis histórico y epistemológico desglosado en este capítulo cobra sentido en la enseñanza de las ciencias?

**El uso del análisis histórico  
y epistemológico sobre  
los fenómenos cromáticos  
en la enseñanza de las ciencias.  
Una propuesta pedagógica**

Los estudios históricos y epistemológicos no solo permiten identificar los mencionados aspectos y construir discursos teórico-prácticos al respecto, sino también reformular las prácticas de enseñanza. ¿Cuál es la función de un maestro? ¿Cuál es su papel frente a la elección de contenidos? ¿Qué debe enseñar a sus estudiantes? ¿Qué función le otorga a la historia de la ciencia dentro de su formación y práctica pedagógica? Estas preguntas también pueden abordarse al realizar un análisis histórico y epistemológico. En los análisis adelantados se destacaron aspectos sobre Newton, Goethe, formas de asumir la experimentación y estilos de pensamiento, entre otros elementos; sin embargo, se trata primordialmente de un episodio histórico construido desde el presente que tiene como referentes la historia de vida de los investigadores y los participantes de esta investigación. La historia a des-

taçar no es la de Newton ni la de Goethe, sino la de aquellos que desde el presente configuran su historia a partir del diálogo con otros. Aunque se resalten los estilos de pensamiento de Newton y Goethe, lo importante aquí es que cada uno de los participantes reflexione sobre su forma de asumir el mundo y de percibir la naturaleza. En línea con esto, las prácticas de enseñanza necesariamente se transforman en oportunidades para generar espacios de diálogo con aquellos que han aportado a nuestras formas de pensar, pero sobre todo con nosotros mismos.

### **Ruta metodológica**

Como parte de esta investigación, y en línea con lo mencionado anteriormente, se desarrolló una propuesta de intervención basada en el estudio histórico y epistemológico de los fenómenos cromáticos. Esta propuesta se implementó en docentes en formación de la Licenciatura en Matemáticas y Física de la Universidad de Antioquia. Se constituyó una investigación de tipo cualitativo-interpretativo abordada desde un enfoque etnográfico. La etnografía según Geertz (1992) configura un marco metodológico que otorga toda relevancia a la interpretación que hace el investigador y a los aportes de los participantes. Este referente epistemológico otorga libertad al investigador en la medida en que lo faculta para confiar en su lectura del mundo, pues no se preocupa por encontrar “verdades ocultas o evidentes”

sino por narrar la historia de lo que percibe. Cabe aclarar que el papel del maestro como protagonista de la investigación no es el de receptor de un contenido, ni el de ejemplo de errores conceptuales. El maestro es más bien, como dice Fleck (1986), un colega que participa en el intercambio de ideas de una estimulante conversación; esta a su vez produce un estado en el que cada uno de los participantes (investigador y maestro) expresan pensamientos que no estarían en condiciones de producir por sí mismos o en compañía de otros. “Lo que procuramos es (en el sentido amplio del término en el cual este designa mucho más que la charla) conversar con ellos (los protagonistas de la investigación)” (Geertz, 1992, p. 10), una cuestión, según este autor, bastante difícil.

La elaboración de los talleres que conforman la propuesta de intervención constituye un intento por captar las estructuras conceptuales y complejas de los maestros. Así, la interpretación de la implementación de la propuesta es una forma de hacerlas explícitas. Esta propuesta está formada por cuatro talleres que se desarrollaron cada uno en dos horas de clase y de los cuales quedaron registros escritos. Además, luego de cada taller se propuso una plenaria de dos horas acompañada de un documento de base. De estas plenarias se obtuvieron también registros de audio. Los aportes de los protagonistas de la investigación se sistematizaron de forma sencilla y ordenada, otorgándole prioridad al contexto en el cual se enmarcaba el aporte y la conexión

que este tenía con los objetivos de la investigación. En los aportes se rastrearon indicios que permitieron categorizar los resultados de la implementación de las actividades (tabla 3.1). Los talleres proponen episodios históricos para contextos de discusión específicos (tabla 3.2). El diseño de actividades e instrumentos de indagación se realizó simultáneamente con el análisis histórico y epistemológico de los fenómenos cromáticos presentado anteriormente. Los talleres fueron elaborados con base en el mencionado estudio; sin embargo, los dos últimos talleres están rediseñados a partir de lo observado en la implementación y las plenarias de los primeros talleres. La preparación de todos estos talleres supone la concreción de un gran número de lecturas, experiencias, experimentos, discusiones, búsquedas, contrastes, propuestas e ideas.

Es importante destacar que la elaboración formal del marco conceptual de esta investigación se realizó simultáneamente con la construcción de los talleres que forman parte de la propuesta de enseñanza. Consideramos que la construcción de referentes conceptuales para la elaboración de las propuestas pedagógicas es parte de la labor de *teorización* de un investigador en enseñanza de las ciencias. Asimismo, la elaboración e implementación de talleres es parte de la *actividad experimental* de un investigador en la misma área. Entonces, la relación teorización y experimentación como “dimensiones complementarias y dialécticas en los procesos de construcción social del conocimiento

científico” (Romero, 2013, p. 87) se hizo evidente en el desarrollo de este estudio. La construcción del marco teórico y la propuesta de intervención se desarrollaron de manera dialógica, constituyéndose simultáneamente y de manera recíproca. Deseamos hacer especial énfasis en lo anterior puesto que la relación entre teorización y experimentación que proponemos debe evidenciarse en la investigación misma, desnaturalizando las ideas tradicionales según las cuales un investigador primero teoriza y luego experimenta.

### **Hallazgos y discusión**

A continuación, se presentan algunos de los hallazgos obtenidos en la implementación, discutidos a la luz de las categorías.

#### ***Visión y naturaleza***

En este aspecto proponemos que la percepción del color, que normalmente hemos considerado la misma para todos, también determina formas de relacionarnos con el mundo. ¿Por qué suponemos que percibimos los mismos colores que nuestro compañero? ¿Por qué suponemos que Newton y Goethe al realizar los mismos experimentos observaron lo mismo? ¿Acaso la subjetividad no permea la percepción? El estudio del fenómeno de la visión incluye diversos elementos que dependen del contexto del sujeto que los construye, de su experiencia, de sus ojos, de su cultura y de su forma de asumir el mundo.

**Tabla 3.1** Red de categorías de análisis

<i>Categorías</i>	<i>Subcategorías</i>	<i>Indicios</i>
Construcción de los fenómenos cromáticos desde Goethe	Visión y naturaleza	Se caracterizan formas en las que diferentes personas observan distintas imágenes en las mismas situaciones. Se crean factores que determinan la visión como los siguientes: la fugacidad del color, la permanencia del color, la distancia entre el ojo y los objetos, el tipo de ojo, entre otros. Reconoce en sus experiencias formas particulares de relacionarse con el mundo que dependen de la manera como se observan los objetos.
	El color como contraste entre claridad-oscuridad	Se observan diversas tonalidades y colores dependiendo de la relación claridad-oscuridad. Se evocan situaciones cotidianas donde el cambio en la relación claridad-oscuridad representa un cambio en la percepción del color. Se observa la ausencia de color en condiciones extremas de oscuridad o luminosidad.
	Principios asociados a la percepción del color	Se identifican bordes y limbos coloreados en diversas situaciones. Se adicionan limbos y bordes para formar otros colores. Se resignifica el color como un elemento dinámico susceptible de ser comunicado, exaltado, transformado o que desaparece. Se definen parejas de colores bajo reglas empíricas en distintas situaciones experimentales.
	La experimentación como generadora de conocimiento	Se modifican un amplio número de parámetros experimentales. Se determinan cuáles de las diferentes condiciones experimentales son indispensables. Se buscan regularidades y se proponen representaciones por medio de las cuales las regularidades se pueden formular. Se organizan grupalmente efectos sensibles a través del análisis de experimentos. Se establecen nexos entre la teoría y la experiencia en experimentos concretos.
Formas de ver y su historicidad	Estilos de pensamiento newtoniano	Se define la naturaleza como un ente externo al sujeto susceptible de ser modificado y estudiado a través de la experimentación y la teorización. Se emplea la idea de rayo de luz o de predominancia de la luz para interpretar el fenómeno cromático.
	Estilo de pensamiento goetheano	En la experimentación se encuentran maneras particulares de cómo el sujeto comprende su papel como parte de la naturaleza. Se estructuran los fenómenos cromáticos a través de la percepción del color como el elemento fundamental. Se propone que cada sujeto debe construir sus propios experimentos y elaborar propuestas teóricas en línea con ellos.

**Tabla 3.2** Descripción general de los talleres que componen la propuesta de enseñanza

<i>Taller</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Preguntas clave</i>	<i>Documentos de apoyo</i>
En compañía del color	Encontrar en el color un elemento que permita organizar la acción de "ver", a través de la idea de transformación del color.	Texto de carácter narrativo donde se deben realizar algunos experimentos y evocar experiencias para completar las frases del texto.	¿Cómo transformar el color de un objeto? Ilustre algunas situaciones donde la observación del color es fugaz, temporal o permanente. ¿Cuáles son las condiciones para percibir el color?	Goethe, J.W. (1991). Introducción a la teoría de los colores.
Colores fisiológicos	Reconocer el papel de la visión en la percepción del color.	Fragmentos del texto de Goethe que exigen la realización de experimentos. Se proponen nuevos arreglos experimentales y variaciones de estos.	Diseñe un dispositivo que permita obtener una sombra de color. ¿Cuál es el color del espectro de una imagen coloreada que se observa por algunos instantes y luego desaparece?	Steinle, F. (1997).
Los colores y el prisma triangular	Formalizar la percepción del color utilizando el prisma como instrumento de exploración.	Se proponen la elaboración de algunas imágenes a ser observadas a través del prisma, para identificar regularidades en la percepción del color.	Construya imágenes en blanco y negro que al ser observadas a través del prisma permitan la percepción de colores como el verde y el magenta. Identifique las regularidades en la percepción de los colores que resultan de las anteriores observaciones.	Ribe, N. y Steinle, F. (2002).
Newton y Goethe: el problema del cuadrado rojo y azul	Identificar y caracterizar las propuestas goetheana y newtoniana de los fenómenos cromáticos.	Se proponen variaciones experimentales que cuestionan la posición de cada participante frente a lo que se observa y, por ende, ante la forma de concebir la naturaleza.	¿Qué se observa en el experimento del cuadrado rojo y azul? ¿Cómo variar este experimento? ¿Cuál es el papel del científico en los dos enfoques mencionados? ¿Cuál es la relación entre la teoría y la experimentación en estos enfoques?	Plenaria simultánea con taller.

En la plenaria del primer taller, Francy hace un aporte que destaca la experiencia de cada sujeto en la observación del color. Además, le otorga un destacado papel al observador. Su aporte se enmarca en una discusión sobre la propuesta newtoniana para los fenómenos cromáticos.

Francy: Hay una cosa muy importante y es el ojo propio, o sea, el observador. ¿Por qué? Tenía un compañero que era daltónico, jugamos una vez amigo secreto y yo quería un pantalón de tal forma. Él pensó que me lo había traído de ese color y ¡terrible! Pero para él sí era el color que yo había dicho. Aquí podríamos decir si Newton hubiera sido daltónico como mi compañero, ¿cómo hubiera sido desarrollada esa teoría? Se trata de las experiencias individuales, de la percepción. Lo que estamos observando depende de nuestra experiencia (*Taller 1 - plenaria*).

Aunque podríamos considerar que la percepción de distintos colores para distintos sujetos obedece seguramente a condiciones fisiológicas, en el marco conceptual de esta investigación, se establece que la experiencia de cada sujeto determina una percepción particular de los colores. Asimismo, la organización del fenómeno cromático es diferente para cada uno de los sujetos que observa. En el momento en que Newton estructuró su teoría del color, aspectos como la distancia entre el ojo y la imagen, la reflexión de los rayos, las características de las lupas y la oscuridad o la luminosidad del cuarto eran fundamentales en lo que observaba. Sin embargo, el primer elemento que

configuraba lo que veía era su experiencia. La relación que Newton tenía con la geometría es una particularidad de su experiencia que fue evidentemente determinante en su organización de los fenómenos cromáticos.

La observación del color estructura una forma diferente de relacionarse con el mundo, con los demás y consigo mismo. Las actividades de los talleres, por ejemplo, exigieron una reorganización de la experiencia y de la manera de percibir de algunos participantes. En el taller 2, Sebastián y Octavio observaron unas franjas de colores que los demás participantes no pudieron observar. Para la plenaria, los compañeros les exigieron ser específicos en la manera de observar para poder ellos percibir las franjas en cuestión; esta exigencia hizo que Sebastián se esforzara en describir el proceso. A propósito de esto, Sebastián, en la plenaria del taller 3 (*Los colores y el prisma triangular*), nos comenta algo sobre el cambio en su manera de percibir:

Sebastián: Cuando empezaron a hablar de eso del prisma, yo me puse a mirar directamente el cosito acá [se refiere a una imagen en blanco y negro en la pantalla de su computador] y a modificarlo ahí cuando me aparecieron los colores. No sé si me los estoy imaginando que están ahí. Yo sé que están porque yo veo con el prisma pero yo ya los puedo, con más claridad, hacer aparecer [se refiere a hacer aparecer las franjas de color sin el prisma]. [...] Yo últimamente he estado escuchando mucha más música y haciendo más música, entonces, ya escucho

más todos los instrumentos que hay, pues, antes no le prestaba atención.

Si combinan —dice otro—.

Sí, si combinan... que cómo salió ahí el bajo. Pero acá, simplemente el hecho de querer verlos pues los veo. Yo estoy haciendo la experimentación que hicimos sin el prisma. Solo modificando la perspectiva que tenemos, desenfocando el ojo (*Taller 3 - plenaria*).

En los párrafos anteriores, que corresponden a la interpretación de algunos enunciados de los protagonistas de esta investigación, evidenciamos cómo lo que percibimos redefine nuestra experiencia de la misma manera como nuestra experiencia determina lo que observamos.

### ***Experimentación como generadora de conocimiento***

Consideramos que la experimentación puede darse de múltiples maneras. En su carácter exploratorio, por ejemplo, la experimentación posee diversas características, como la variación de sus parámetros, la determinación de condiciones indispensables, la búsqueda de regularidades y la construcción de representaciones apropiadas para expresar las reglas y las condiciones. En el taller 3 (Los colores y el prisma triangular) y su plenaria, muchos participantes elaboraron preguntas que corresponden a posibles variaciones de las disposiciones experimentales que ellos mismos definieron. Por ejemplo, al momento de discutir la relación entre la experiencia de diversas personas y los

referentes teóricos que se relacionan con esas experiencias, se estableció un diálogo entre algunos participantes sobre el papel del prisma y su uso en el taller.

Jorge: Yo me pregunto si se tuviera otra forma del prisma regular [se refiere a diversas formas geométricas para el prisma] ¿Tiene que ser un prisma? ¿Eso es de qué material?

Julio: Yo lo relaciono con otras formas de estudio. Me imagino a Galileo, me pregunto por qué escogió un plano inclinado y no otra figura rara. Lo mismo para la electricidad... el generador de Van de Graff magnifica lo que con el lapicero se ve muy poco. ¿Es el prisma el instrumento que me está determinando esto? De pronto una lupa no sea tan efectiva. No sé si siempre ha sido una regularidad en la ciencia o qué, pero uno ve que cuando perciben algo interesante, tratan de magnificar las cosas y tomarlo en serio (*Taller 3 - plenaria*).

En los anteriores enunciados consideramos que los participantes manifiestan una inquietud por el prisma y su papel en el diseño experimental. Ellos proponen otro tipo de instrumentos, otras formas y materiales, e incluso conectan esta reflexión con otros fenómenos, mostrando la necesidad de variar las condiciones experimentales y buscar los elementos indispensables, para el caso, el papel del prisma. Todas estas preguntas formaban parte de las reflexiones motivadas por la disposición instrumental para desarrollar el taller. En estos talleres era necesario crear procesos, y la creación de estos procesos suscitó múltiples inquietudes para las que ellos mismos propusieron soluciones.



Ya en la plenaria del taller 3 (Los colores y el prisma triangular) encontramos una situación que sirve de analogía a la relación entre acción y pensamiento para el caso de la experimentación. En las reglas propuestas para la dinámica de participación, el coordinador sugirió que para esta plenaria no se levantara la mano (para respetar el orden de la palabra), sino que cada uno hablara en el momento que quisiera, siempre esperando a que el anterior participante terminara de hablar. Todos nos sorprendimos... esperábamos múltiples objeciones a tal propuesta. “Puede que genere desorden pero quizás se puede lograr mayor profundidad”, dijo el coordinador de la discusión. De manera casi simultánea todos dijeron: “Vamos a ensayar”. Esta expresión está cargada de un gran significado que muestra en otro contexto la relación entre acción y pensamiento. Luego de los tres primeros talleres, el grupo destaca ahora la experiencia de cada sujeto, por esta razón la propuesta debe pasar por la experiencia. Así pues, solo la ejecución de esta propuesta permite resolver la pregunta por su viabilidad. Este es un ejemplo concreto de la manera como el pensamiento requiere ahora de la acción y no se queda en la mera especulación sobre situaciones que pudieran convertirse en hechos. No se trata de un hacer por hacer. Ya se realizaron plenarios con un orden específico de participación, ya se tienen elementos de opinión sobre eso. No obstante, esta forma de proceder puede mejorar la participación. Sin embargo, es necesaria la

acción para lograr coherencia con la experiencia, aun sin realizar.

### ***El uso de los análisis históricos y epistemológicos en la enseñanza de las ciencias***

Sobre la historia de la ciencia y su uso en la enseñanza hay mucho ya planteado; diversas alternativas, diversas formas de asumirla, diversas bondades. Pero queremos destacar la historicidad de los sujetos y cómo esta se puede construir grupal e individualmente a través de una propuesta fundamentada en un análisis histórico y epistemológico. Hubo una serie de aportes de los participantes que no solo mencionaban aspectos conceptuales, metodológicos o epistemológicos de la construcción de los fenómenos cromáticos, sino que además los ubicaban a ellos mismos en el interior de ese discurso. En las actividades finales (taller 4 y entrevista) observamos formas alternativas de asumir la historia y ubicarse en ella. En la entrevista, por ejemplo, Elmer nos comentaba su opinión sobre las intenciones de Newton y Goethe a la hora de experimentar en torno a los fenómenos cromáticos:

Elmer: En cierto sentido Newton no se equivocó... él redujo, él buscaba algo; ya sabía qué quería encontrar. Necesitaba las condiciones y las hizo, hizo lo que él quería. Goethe también sabía lo que iba a buscar y era una cosa muy diferente. Él sabía que no necesitaba que todo fuera oscuro, no, yo quiero con luz. No lo contradice. El

mismo experimento con situaciones distintas. Yo lo puedo hacer con situaciones distintas, ¿entonces va a ser la teoría de Elmer? ¿Estoy contradiciendo a Newton o a Goethe? (Entrevista).

El presente libro puede considerarse como la fotografía del momento en el cual los investigadores y los protagonistas formaron parte de este trabajo. Una fotografía que habla de la historia de vida de todos nosotros. En particular, el contraste entre la teoría newtoniana y la goetheana para los fenómenos cromáticos no constituye un hecho aislado o poco relacionado. En los inicios de esta investigación, Goethe y su estilo de pensamiento se nos mostraban como lo más importante a destacar; sin embargo, Newton permaneció como una sombra. Finalmente, los dos configuraron decididamente la propuesta de enseñanza y los referentes conceptuales. Es la transformación de nuestra relación con Newton y con Goethe la que llevó a este final. Aproximarnos a la lectura de sus obras, reflexionar sobre las características de sus métodos y especular sobre sus estilos de pensamiento es establecer un diálogo directo con ellos, con su cultura, con su época. Este diálogo cobra sentido desde el presente y no solo un sentido para nuestras formas de asumir el fenómeno cromático, sino para nuestra práctica docente.

Las implicaciones pedagógicas de lo anterior son muchísimas y muy positivas. Deseamos destacar, no obstante, aquellas relacionadas con la redefinición de contenidos y el reconocimiento del maestro

como protagonista de la enseñanza. Dentro de los aportes relacionados con este aspecto tenemos el siguiente, que corresponde a la última intervención en el taller 4 (Newton y Goethe, el problema del cuadrado rojo y azul). Se enmarca en las posibles respuestas a la pregunta ¿cuál es el papel de mi historia al interpretar la obra newtoniana y goetheana y opinar sobre ella?

Luisa: Yo tu pregunta la asumí como qué relación tenía esto que vivimos acá con nuestra historia o cómo la iba a cambiar. Yo la guie como en dos partes. En la historia, bueno, ya sé que cuando... y también lo voy a relacionar con mi profesión docente. Sé que cuando yo vaya a enseñar fenómenos ópticos u óptica geométrica, yo al menos ya voy a tener opciones. Voy a ir a hacer un estudio no solo de lo relacionado con Newton, sino que voy a leer a Goethe o a otro o a otros. Entonces me gusta que tenga esa posibilidad. Que cuando esté leyendo algo, consultando algo, me aparezca por allá Goethe. Cuando me aparezca Goethe, no va a ser alguien ajeno a mí porque ya al menos tuve un acercamiento en este curso con él. Entonces quizás pueda entender más cosas y pueda quizás cambiar mi postura (*Taller 4 - plenaria simultánea*).

De algún modo, el anterior aporte es una síntesis de gran parte de los objetivos de este proyecto. Luisa nos dice que al enseñar ciertos contenidos va a hacer un estudio de la obra de diversos científicos. Este estudio lo piensa hacer ella misma y no tomarlo de un programa curricular. Lo más importante en este aporte es que

la participante considera con optimismo que, al trazarse la meta de enseñar, y en este camino busca relacionarse y apropiarse de la teoría y métodos de otros científicos, entonces quizás pueda entender más cosas y construir su postura. Consideramos que los participantes y los investigadores al formar parte de esta propuesta conocieron y transformaron sus *formas de ver* e interpretar el mundo, construyeron un capítulo de su historia como maestros de ciencias.

### A modo de conclusión

Cabe destacar las potencialidades de la propuesta pedagógica en la formación de maestros. El diseño de talleres, su implementación, la forma de discutir en torno a ellos, los documentos asociados y las formas de interpretar los enunciados del grupo de maestros en formación constituyen una alternativa para la enseñanza de la física en lo que respecta a los fenómenos luminosos. Esta alternativa permite destacar al maestro como protagonista de la enseñanza puesto que es él quien planea, propone interrogantes, diseña actividades y evalúa los aportes de sus estudiantes. Por esta razón, la propuesta pedagógica diseñada busca que

el maestro en formación, al reconocerse protagonista de la construcción científica en lo que percibe y experimenta, puede repensar su papel (comúnmente de transmisor) en la enseñanza.

En resumen, podemos considerar que los estudios históricos y epistemológicos son útiles para: i) construir los fundamentos de un fenómeno. En esta medida, este tipo de estudios se convierten en una estrategia para participar concretamente en la cultura científica y la filosofía de la ciencia puesto que el análisis de aspectos disciplinares, metodológicos y epistemológicos permiten al maestro actuar como científico y como filósofo de la ciencia. ii) Favorecer la reflexión pedagógica, pues incluye asuntos como la redefinición de contenidos, el papel de la experimentación en el aula, la construcción de estilos de pensamiento en docentes y estudiantes y el examen de las características de las actividades experimentales, entre otros aspectos. Además, los talleres desarrollados en la investigación son potentes, puntuales y acordes para trabajar en diversos contextos de enseñanza. Finalmente, la realización de estudios históricos y epistemológicos permite que iii) el maestro configure su estilo de pensamiento y construya su historicidad.

### Notas

- 1 Estos calificativos son parte de las repuestas dadas por los participantes de la investigación a esta pregunta.
- 2 Invitamos al lector a realizar el experimento.

## Referencias bibliográficas

- Ayala, M. M. (2006). Los análisis históricos críticos y la reconstrucción de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades. *Pro-Posições*, 17(49), 19-37.
- De Hosson, C. (2004). *Contribution à l'analyse des interactions entre histoire et didactique des sciences. Elaboration d'un support d'enseignement du mécanisme optique de la vision pour l'école primaire et le collège et premiers éléments d'évaluation*. (Tesis doctoral). Université Paris-Diderot.
- Fleck, L. (1986). *La génesis y el desarrollo de un hecho científico*. Barcelona: Alianza Universidad.
- Gagliardi, M., Giordano, E. y Recchi, M. (2006). Un sitio web para la aproximación fenomenológica de la enseñanza de la luz y la visión. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(1), 1-8.
- García, E. (2011). Filosofía de las prácticas experimentales y enseñanza de las ciencias. *Praxis Filosófica*, 31, 7-24.
- Geertz, C. (1992). *La interpretación de las culturas*. Barcelona: Gedisa.
- Goethe, J. W. (1945). *Teoría de los colores*. Buenos Aires: Poseidón.
- \_\_\_\_\_. (1991). *Esbozo de una teoría de los colores*. En Goethe, J. W., *Obras completas*, t. I. México: Aguilar.
- Mach, E. (1948). *Conocimiento y error*. Buenos Aires: Espasa Calpe.
- Malagón, J. F., Ayala, M. M. y Sandoval, S. (2013). *Construcción de fenomenologías y procesos de formalización. Un sentido para la enseñanza de las ciencias*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Mayrargue, A. y Savaton, P. (2006). Quels liens entre l'histoire des sciences, l'épistémologie et la didactique des disciplines? *Tréma*, 26. Recuperado de <http://trema.revues.org/98>.
- Newton, I. (1945). *Óptica o tratado de las reflexiones, refracciones, inflexiones y colores de la luz* (traducción de Eugenio Días del Castillo). Buenos Aires: Maestros de la Ciencia.
- Ribe, N. y Steinle, F. (2002). Exploratory Experimentation: Goethe, Land, and Color Theory. *Physics Today*, 55(7), 43-49.
- Romero, Á. (2013). Reflexiones acerca de la naturaleza de las ciencias como fundamento de propuestas de enseñanza: el caso de la experimentación en la clase de ciencias. En Romero, Á., Henao, B. y Barros, J., *La argumentación en la clase de ciencias. Aportes a una educación en ciencias en y para la civilidad fundamentada en reflexiones acerca de la naturaleza de las ciencias* (pp. 71-98.). Medellín: Universidad de Antioquia.
- Romero, Á. y Aguilar, Y. (2013). La experimentación y el desarrollo del pensamiento físico. Un análisis histórico y epistemológico con fines didácticos. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.
- Shulman, L. S. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14. Edición española: Shulman, L. S. (2005). El saber y entender de la profesión docente. *Estudios Públicos*, 99, 195-224.
- Steiner, R. (2011). *Goethe y su visión de mundo*. Buenos Aires: Antroposófica.
- Steinle, F. (1997). Entering New Files: Exploratory Uses of Experimentation. *Philosophy of Science*, 64, S65-S74. Supplement. Proceedings of the 1996 Biennial Meetings of the Philosophy of Science Association. Part II: Symposia Papers.
- Taton, R. (1972). *Historia general de las ciencias. II: La ciencia moderna*. Barcelona: Destino.
- Txapartegi, E. (2008). La doctrina platónica de los colores: una interpretación realista. *Crítica. Revista Hispanoamericana de Filosofía*, 40(118), 79-107.
- Werle, M. (2012). La cuestión del colorido en la pintura: Hegel frente a Goethe y Diderot. *Estudios en Filosofía*, 24(2), 123-148.

## Capítulo 4

# La medición como medio para la construcción social de conocimiento en el aula

Yaneth Liliana Giraldo Suárez  
Jaime Antonio Quinto Moya  
Ángel Enrique Romero-Chacón

### Introducción

Diferentes reflexiones en torno a la enseñanza de las ciencias han venido resaltando que el docente orienta sus prácticas de acuerdo con la manera como significa y comprende los procesos de constitución y establecimiento del conocimiento científico (Ayala, Garzón y Malagón, 2008; Romero, 2013). De modo complementario, las perspectivas de los profesores y sus reflexiones sobre cómo deben ser enseñadas las ciencias se ven reflejadas en la manera como ellos toman decisiones frente a la selección, planeación y ejecución de las temáticas a enseñar, así como frente a las actividades que llevan a cabo en las instituciones educativas. Estos estudios evi-

dencian marcadas influencias de la perspectiva clásica o heredada de la filosofía de las ciencias, específicamente en cuanto a la forma de concebir la actividad experimental, la ausencia de reflexiones epistemológicas e históricas y la separación entre teoría y práctica (Romero, 2013; Malagón, Ayala y Sandoval, 2011; García, 2011a).

Dado lo anterior, es usual que se termine por asumir la experimentación en las clases de ciencias como un proceso innecesario y de poca importancia para el aprendizaje de los estudiantes, lo que termina generando en ellos una visión de la ciencia como una verdad única y acabada, expuesta en la irrefutable teoría.

Tomando como fundamento algunos aportes y reflexiones de la filosofía, la epis-

temología y la sociología de la ciencia, el texto presenta los fundamentos teóricos y las contribuciones pedagógicas de una propuesta alternativa para la enseñanza de las ciencias. En él se resaltan nuevas miradas que podrían contribuir a superar y trascender la perspectiva positivista que prevalece aún en las prácticas pedagógicas de los docentes, en pro de una mirada que resalte la importancia de la actividad experimental en la clase de ciencias desde un enfoque sociocultural. Se espera con estas reflexiones favorecer una concepción de la actividad experimental entendida como un espacio de construcción de conocimiento a partir de la producción de fenómenos, cuyos procesos conlleven la exposición de juicios a partir de observaciones intencionadas y procesos de medición de propiedades de los fenómenos construidos en el aula (Malagón *et. al.*, 2011).

Con el ánimo de hacer más clara la propuesta, se sintetizan a continuación algunos aspectos teóricos centrados en el análisis de la relación existente entre los procesos de medición y la construcción de instrumentos y escalas de medida, asumidos como el medio que permite la construcción social y discursiva del conocimiento dentro de los espacios de formación de la clase de física.

## **Referentes teóricos**

### ***El carácter discursivo de la actividad experimental***

La mirada sobre la experimentación aquí expuesta se ha fundamentado y enrique-

cido con los aportes de la perspectiva sociológica del conocimiento científico, en particular del énfasis que esta hace en el análisis y la reflexión sobre las dinámicas discursivas, los intereses y las estrategias de convencimiento presentes en los contextos de producción del conocimiento. En este sentido, autores como S. Shapin y B. Latour abordan temáticas de especial interés sociológico en las que se despoja a la ciencia de la mirada dogmática y absolutista, para presentarla bajo una perspectiva que tiene en cuenta el trabajo científico como una actividad social y contextualizada, y en la que la dimensión discursiva tiene un lugar relevante (Shapin, 1990; Latour y Woolgar, 1995).

Dado el carácter social del conocimiento científico, se hace necesaria la validación de sus procesos y productos por parte de la sociedad. En términos de Kuhn (1969), el proceso de construcción y validación de una teoría no es una actividad solitaria, sino que involucra la constitución y participación de una comunidad. Es así como se construye y legitima un hecho científico, considerado como una categoría epistemológica y sociológica que favorece los procesos de comunicación, en el ejercicio del lenguaje (Shapin, 1990). Como se mencionó en el capítulo 1, este autor discute algunas estrategias de construcción social del conocimiento (tecnologías) que a su juicio utilizaba Boyle para producir y legitimar los hechos experimentales, y que simultáneamente eran utilizadas para hacer comunicables los hechos construidos. Estas tecnologías son: la *tecnología*

*material*, referente al diseño y montaje experimental, cuyo objetivo es la producción de nuevos hechos (relaciones entre efectos); la *tecnología social*, vinculada a un medio de objetivación colectivo de la producción de conocimientos que buscaba la reproductibilidad de los hechos para asegurar que sean considerados públicos (no necesariamente solo por científicos reconocidos); y la *tecnología literaria*, cuya función era crear una comunidad con formas y convenciones de relaciones sociales internas que certifique y valide las experiencias realizadas.

En línea con lo anterior, Latour y Woolgar (1995) analizan el trabajo en el interior de una comunidad científica adscrita a un laboratorio. En su análisis, estos autores resaltan que los miembros de la comunidad (los científicos) no descubren los hechos científicos, sino que los construyen en colectivo a partir de la justificación y la argumentación de sus enunciados, cobrando en ello gran importancia los procesos de codificación, corrección, comunicación y discusión desplegados con el fin de convencerse y convencer a otros de aceptar como válidos los hechos construidos. Tal como lo plantean Romero y Aguilar (2013), en estos procesos de exposición de los conocimientos el experimento oficia como una estrategia para movilizar consensos en los que la certeza y la validez de los conocimientos producidos se derivan de las convenciones establecidas por el colectivo (significaciones y representaciones simbólicas compartidas) y no de la contundencia de la evi-

dencia empírica misma. En este sentido, el experimento se constituye como un espacio de construcción y validación del conocimiento, mediado por interacciones discursivas y dialógicas.

De manera adicional, estos autores proponen la noción de *instrumento de inscripción* en la significación de un aparato, o del conjunto de sus elementos, cuya función posibilita no solamente la construcción del hecho, sino que propicia interpretaciones, explicaciones e informaciones que pueden ser debatidas, argumentadas y contraargumentadas.<sup>1</sup> Así mismo, *el instrumento de inscripción* favorece la transformación de datos a través del diálogo y los procesos por los que los científicos dan significado a sus observaciones con el propósito de producir conocimiento.

Teniendo como base estos referentes conceptuales, se asume que la enseñanza de la ciencia en el aula, a nivel básico y medio, es ante todo un proceso de construcción social del conocimiento, y no una mera transmisión de información y de resultados de este. En este orden de consideraciones, el carácter discursivo de la actividad experimental posibilita una mayor ampliación de la experiencia por parte de los sujetos, en la cual la identificación de regularidades (fenómenos) y los llamados hechos científicos han de construirse necesariamente en colectivo (Fleck, 1986).

Es importante resaltar que este carácter discursivo de la actividad experimental es dinámico, no solo por la interacción entre diferentes individuos, sino porque situaciones que eran polémicas en un

principio pueden transformarse en una base para organizar nuevas situaciones respecto al fenómeno en cuestión, es decir, llegan a un momento en que se estabilizan y consolidan (consensuan) para ser utilizadas como punto de partida en el análisis y la construcción de otras situaciones más complejas.

***Los procesos de medida  
de las propiedades físicas  
desde las perspectivas  
de N. Campbell y P. Duhem***

En su acepción más amplia, la medición se puede significar como el proceso de asignación de números a propiedades o atributos físicos para ser representados (Rodríguez, 2008); y es precisamente este proceso el que permite significar la propiedad en cuestión como una magnitud, caracterizada por su formalización en el entendido de asignación de una estructura particular, tal como las relaciones de orden (igualdad y desigualdad) o la estructura aditiva, propias de conjuntos numéricos utilizados para tal representación. A continuación se discuten aspectos particulares de esta forma de asumir el proceso de medición de acuerdo con los planteamientos de N. Campbell y de P. Duhem.

*La perspectiva de Norman Campbell*

Con la intención de establecer qué propiedades pueden ser medibles y cuáles no, Campbell (1994) considera que “las propiedades medibles de un objeto tie-

nen que parecerse de algún modo particular a la propiedad de ser número” (p. 190), es decir, que puedan ser representadas por los mismos símbolos que son utilizados en los procesos de contar: las cifras. Atendiendo a esta demanda, Campbell presenta las reglas (aritméticas) del contar que se cumplen para los “números”, y que por consiguiente deben de satisfacerse para que las propiedades sean susceptibles de ser medidas. La primera establece que si dos objetos respecto a una propiedad son iguales a un tercer objeto, entonces estos son iguales el uno respecto del otro; la segunda plantea la posibilidad de la construcción de una serie normal por la adición sucesiva de objetos iguales respecto a una propiedad, que permita medir cualquier otro objeto de la misma propiedad, es decir, lo que se conoce como patrón de medida; finalmente, este autor propone como tercera regla que iguales añadidos a iguales producen sumas iguales (Campbell, 1994).

La asignación de cifras a propiedades a partir de estas reglas es denominado por Campbell proceso de medida fundamental. Sin embargo, a pesar de la generalidad de estas reglas, Campbell es claro en afirmar que hay algunas propiedades que no se ajustan a ellas, y en tal caso al proceso de asignación de cifras lo llama medición derivada y dependiente. La inconsistencia de estas propiedades ante las reglas establecidas radica en que no son susceptibles de adición, razón por la cual el autor propone una “nueva medición” que basa sus análisis en las relacio-



nes de orden, características de las cifras que se usan para representar las propiedades. Tal es el caso de la *densidad*:

al afirmar que un cuerpo tiene el peso 2 es que puede formarse un cuerpo del mismo peso combinando dos cuerpos de peso 1 [...]. En cambio, cuando decimos que el mercurio tiene una densidad de 13.5 no queremos decir que pueda prepararse un cuerpo de esa misma densidad combinando 13 cuerpos y medio de densidad 1 (agua) (Campbell, 1994, p. 196).

Para abordar esta dificultad, Campbell advierte que es posible establecer una estructura de orden entre los distintos grados (o valores) de densidad que se pueden presentar. Esta estructura de orden, caracterizada por las relaciones de *mayor que*, *igual que* y *menor que*, es característica de este tipo de propiedades de carácter *cualitativo*. Así, por ejemplo, se puede considerar en la experiencia que un líquido A es “más denso” que un líquido B, y que a su vez el líquido B es más denso que otro C. De esta forma, a partir de las comparaciones sucesivas entre los “grados” de densidad de varios líquidos, se puede establecer un orden característico en la propiedad en consideración, que corresponda al mismo orden de las cifras que se utilizarían para representar los valores (grados) de dicha propiedad.

No obstante, como señalan Romero y Aguilar (2013), se encuentran ciertas dificultades en la arbitrariedad del proceso de asignación de cifras (puede existir una infinidad de posibilidades de series

de cifras que corresponda al mismo orden identificado), aspecto que dificulta la cuantificación del proceso. Para resolver esta dificultad, Campbell considera que en algunos casos de las propiedades cualitativas, como la densidad, es posible encontrar una relación entre los valores numéricos que representan otras propiedades aditivas (extensivas), que concuerden con el orden de los grados de la propiedad cualitativa (intensivas) que se desea medir. Para el caso de la densidad, tales relaciones se pueden establecer entre el peso y el volumen, hecho que permite establecer una relación numérica entre ellas y la asignación de cifras, permitiendo así realizar una ordenación entre varios objetos que compartan esta característica, y que simultáneamente favorezca la cuantificación.

#### *La perspectiva de Pierre Duhem*

Según Duhem (2003), para que una propiedad sea medible debe ser comparable entre un grupo de objetos que comparten la misma característica; la comparación permite realizar inferencias acerca de un orden y establecer patrones que permitan cuantificar cualquier objeto en relación con la propiedad que se analiza. Así, al realizar un proceso de comparación entre dos objetos respecto a la misma propiedad, es posible establecer reglas (leyes) que permiten identificar relaciones de orden en los valores que toman estas propiedades, representadas por signos aritméticos de < (menor que), > (mayor que) e = (igual

que), que satisfacen propiedades como la transitividad. La categoría de *cantidad*, además de satisfacer estas relaciones de orden, debe cumplir con la característica esencial de que cualquier valor de ella pueda ser siempre constituido por la adición de otros valores menores; aspecto posible por la identificación de una operación aditiva (+) entre los valores de la cantidad, que satisface las propiedades de ser conmutativa y asociativa (Duhem, 2003).

No obstante, las cantidades no son las únicas propiedades de los cuerpos. También existe la categoría de las *cualidades*, significadas por Duhem como “propiedades sensibles” de los cuerpos, que varían de grado de intensidad en ciertas circunstancias. Con la intención de representar tales cualidades por medio de números (de la misma forma que se podría hacer con los valores de una cantidad), Duhem propone hacer comparaciones entre los grados de intensidad de dicha cualidad haciendo uso de las relaciones de orden de la aritmética (=, >, <). Tal es el caso, por ejemplo, de la ordenación de grados de intensidad de un color determinado, o de los grados de calor que pudieran percibirse en los cuerpos. Sin embargo, advierte que no puede conformarse la intensidad de una cualidad como la suma de varias partes de la intensidad de la misma cualidad, pues no podría formarse un color rojo intenso sumando o juntando pedazos de la tela roja de menos intensidad. Esto implica que una cualidad no es aditiva, es decir, no puede ser expresada ni representada por medio de una suma de grados de intensi-

dad menores (como sí es el caso de valores de una cantidad dada), y por lo tanto no existirá un patrón de medida de la intensidad de la cualidad que diera cuenta de dicha conformación. Así, la categoría de cualidad, analizada desde los parámetros descritos para la categoría de cantidad, no sería susceptible de ser medida (esto es, representada por números).

A pesar de esta dificultad, Duhem menciona que una cualidad puede medirse por medio de la identificación de una *escala* cuyos valores representarían los grados de intensidad de dicha cualidad. Para conformar la escala (o escalas) cuyos valores representarían las distintas intensidades de una cualidad, Duhem propone tener en consideración que, en la experiencia, el cambio de intensidad de una cualidad puede estar asociado, o ser el efecto, de un cambio en una cantidad determinada; de esta forma, “se elige este efecto de tal modo que su magnitud [de la cantidad] vaya creciendo al mismo tiempo que la cualidad que lo causa se vuelve más intensa” (Duhem, 2003, p. 152). Así, Duhem otorga un significado físico al proceso de medición de las cualidades (propiedades intensivas) a través de la identificación de una escala adecuada para representarlas.

### ***El instrumento de medida como reificación de la organización del fenómeno***

Como se mencionó en el capítulo 1, la forma usual de abordar los procesos de me-

dición en la enseñanza de la física radica en asumirla como la mera aplicación de un instrumento preestablecido al cuerpo o sistema en consideración con la intención de extraer “datos” del mundo físico. Esta concepción, que deriva de una mirada de la medición como juez de la teoría, convierte la actividad experimental en un mecanismo de manipulación de los instrumentos, registro de datos y control de resultados. Esta forma de asumir el proceso de medición conlleva grandes dificultades que impiden la comprensión del proceso de organización de la experiencia sensible y de la construcción conceptual característica de la actividad científica (Romero y Aguilar, 2013).

Según Martins (2007), los instrumentos de medición, en particular, son comúnmente asumidos como “cajas negras”, hecho que les hace adquirir dentro del trabajo experimental un rol absolutista. Con la intención de superar esta situación de excesivo instrumentalismo, este autor propone centrar la atención en la comprensión del funcionamiento y la calibración de los instrumentos más que en el desarrollo de destrezas para su utilización. Esto exige pensar en las formas y los métodos particulares de hacer un experimento y poner siempre en cuestión el funcionamiento del aparato de medición; es decir, que para comprender el proceso de realización de un experimento se exhorta a no tener una fe ciega en el funcionamiento del instrumento. Adicionalmente, se requiere la necesidad comprender, *a priori*, las condiciones teóricas del pro-

cedimiento de medición con el propósito de obtener resultados que se ajusten a las propiedades básicas de las magnitudes físicas en consideración, o sea, la *carga teórica* que subyace a la construcción del instrumento y las razones que hicieron posible su materialización.

La forma como Duhem considera la relación entre experiencia, teoría e instrumento es, en este contexto, especialmente interesante. Según él, son tres los dominios de conocimiento en la ciencia: el de la experiencia, el de la teoría y el de los instrumentos y procesos de medida. El dominio de la experiencia tiene que ver con una serie de situaciones, relaciones y regularidades percibidas del fenómeno (*hechos*) y constatadas por los sentidos (experiencia sensible de los sujetos). El dominio de la teoría está relacionado con un conjunto de principios, magnitudes y símbolos articulados en un sistema de proposiciones que tiene por objeto ofrecer una adecuada representación del dominio de la experiencia (*formalizaciones*). El dominio de los instrumentos y procesos de medida, por su parte, es concebido como el nexo necesario entre los dos anteriores; es el puente que hace corresponder las representaciones (*proposiciones teóricas*) con la experiencia, para que el dominio de la teoría no sea un simple lenguaje desprovisto de significado (Duhem, 2003).

De esta forma, el uso de los instrumentos en sí mismos llega a ser posible solo con la interpretación teórica de los fenómenos en los cuales se basa su funcionamiento.

De forma complementaria a estas consideraciones, Romero (2013) destaca que los instrumentos y los procesos de medida son precisamente los medios que posibilitan el modo en que los objetos de estudio de las ciencias (fenómenos y efectos científicos) se producen. Igualmente, resalta el análisis que hacen Latour y Woolgar (1995) del trabajo de un grupo de científicos en el laboratorio, al proponer como categoría de análisis la noción de *instrumento de inscripción*. Como se expuso en el capítulo 2, un instrumento de inscripción se significa como un aparato o el conjunto de sus elementos, cuya función es transformar una “sustancia material” en una “inscripción gráfica” (histogramas, espectros, diagramas, entre otros), la cual puede ser utilizada por quienes tienen acceso al instrumento. La importancia de esta categoría de análisis radica en que es solo a través del instrumento de inscripción que se posibilita la construcción de nueva información y, por ende, la generación de explicaciones y discursos (orales y escritos) acerca del fenómeno en estudio. Así, sobre la base de la generación de discursos y explicaciones se potencializa, a su vez, la generación de nuevos elementos del instrumento y de los procedimientos experimentales. De esta forma, los instrumentos de inscripción se asumen como teorías y prácticas reificadas en el sentido de que “la realidad artificial, que los participantes [científicos] describen en términos de una entidad objetiva, ha sido de hecho construida utilizando instrumentos de inscripción” (Latour y Woolgar, citados en Romero, 2013).

Estos análisis permiten afirmar que tanto desde la perspectiva epistemológica de Duhem (2003) como desde la postura sociológica de Latour y Woolgar (1995) el instrumento de medida se constituye en una reificación de la organización del fenómeno en el entendido de no ser un objeto dado y punto de partida en el proceso de identificación y medición de magnitudes físicas, sino un artefacto que se va construyendo en el proceso mismo de organización del fenómeno para dar sentido al dominio teórico. En este orden de consideraciones, la construcción de instrumentos a partir de la caracterización de propiedades con la intención de clasificarlas y ordenarlas como base del proceso de medida supone la construcción conceptual en torno al fenómeno analizado (Duhem, 2003; Campbell, 1994). Lo anterior demuestra el proceso interactivo y dialógico entre la organización y construcción del fenómeno, la conceptualización y el uso del instrumento.

### **Ruta metodológica de la investigación**

La investigación asumió como marco de análisis un paradigma cualitativo con enfoque interpretativo, por considerarse como un modo particularmente adecuado de acercarse a la “realidad” del contexto educativo del aula de clase con la intención de interpretar, comprender y valorar los procesos de construcción social de conocimiento que allí se des-

pliegan (Latorre, Rincón y Arnal, 1996). La investigación se realizó a través del estudio de caso instrumental como estrategia metodológica (Stake, 2010). Teniendo presente que desde esta perspectiva lo que se trata de comprender es un fenómeno social, siendo el caso en consideración el instrumento para su comprensión, este estudio hizo posible el examen del proceso de construcción social de conocimiento científico en el aula cuando los participantes son motivados a realizar actividades experimentales que resaltan el carácter discursivo y dialógico de esta producción social del saber. El caso estuvo constituido por dos grupos de discusión, conformados por estudiantes de grado octavo, noveno y undécimo de la Institución Educativa Rural Piedras Blancas (Guarne, Antioquia).

Para el análisis y la interpretación de la información se construyó una red de categorías y subcategorías, con sus correspondientes indicios para facilitar la identificación de los enunciados que hicieran referencia a cada una de las categorías de análisis (ver tabla 4.1). Esta red de categorías y subcategorías, construida a partir del estudio teórico-conceptual presentado en el apartado anterior, sirvió como fundamento para el diseño de la propuesta pedagógica implementada y, a su vez, como medio a través del cual se organizaron e interpretaron los discursos de los estudiantes participantes.

En términos de Stake (2010), el análisis consiste en dar sentido a las impresiones que el investigador obtiene

de los registros producidos durante la implementación de campo, así como a los resúmenes finales que contienen las partes que son importantes para la investigación. Stake plantea que la búsqueda de significados conduce al investigador al establecimiento de correspondencias mediante la construcción de modelos y de consistencias en determinadas condiciones. En el caso de esta investigación, el modelo asumido surge de la concepción de la *actividad experimental* que se construyó en el grupo de Estudios Culturales sobre las Ciencias y su Enseñanza — ECCE— de la Universidad de Antioquia. Así, la información se revisó, categorizó y organizó de tal forma que guardara una correspondencia con los rasgos definidos de los roles y actitudes que se asumen en el desarrollo de una actividad experimental, así como con los indicios creados para identificar información relacionada con las subcategorías de análisis.

**La medición como medio  
para la construcción social  
de conocimiento en el aula.  
Una propuesta didáctica**

La propuesta pedagógica se orientó hacia el desarrollo de actividades experimentales, diseñadas con el objetivo de posibilitar a los estudiantes el acercamiento a los procesos de construcción de conocimiento que privilegiaron el establecimiento de espacios de disertación y la puesta en común de ideas por medio del

**Tabla 4.1** Categorías, subcategorías e indicios

<i>Categorías</i>	<i>Subcategorías</i>	<i>Indicios</i>
Los procesos de medición	Clasificación y ordenación como base del proceso de medida	Se proponen pautas para identificar propiedades que permitan construir clasificaciones y ordenaciones. Se realizan clasificaciones y ordenaciones. Se diferencian materiales atribuyendo características a los cuerpos.
	Uso y adecuación de representaciones	Se realizan representaciones verbales o pictóricas para formalizar observaciones y conjeturas. Se representan y analizan magnitudes en tablas y en el plano cartesiano. Se adecua la explicación al fenómeno que se quiere organizar haciendo uso de varias representaciones.
	El instrumento como concreción de la organización del fenómeno	Se hace énfasis en las reflexiones que los estudiantes realizan con respecto al proceso de asignación numérica en la construcción de escalas con marcado interés por interpretar los datos que se obtienen de los instrumentos contruidos. Se concibe el instrumento como una síntesis de la organización del fenómeno.
Dimensión social y discursiva de la actividad experimental	Experimentación como espacio de reflexión y construcción de explicaciones	Se le da mayor importancia a las discusiones, las aclaraciones y las preguntas. Es necesario justificar los procedimientos realizados (para dar credibilidad a lo hecho o como estrategia de convencimiento). Se corrigen las respuestas dadas durante el desarrollo de la propuesta.
	Experimentación como escenario de construcción (social) de fenomenologías	Se da relevancia a los sentidos en el desarrollo de las actividades. La experiencia sensible es empleada como medio de justificación en la toma de decisiones. Se valoran las explicaciones surgidas a partir del consenso. Se desarrollan variaciones de los procedimientos realizados a partir de la significación de la experiencia sensible de los estudiantes.

diálogo. Como se expuso en el capítulo 1, la propuesta consiste en la selección y estudio de algunos episodios históricos de tópicos y contenidos de las ciencias, problematizados a la luz de ciertos contextos de análisis. Para el caso de este trabajo de investigación (tesis), los episodios seleccionados fueron fragmentos de textos de primera fuente, cuyo contenido está en estrecha relación con las temáticas de los procesos de medición, las escalas de temperatura, el fenómeno

de la flotabilidad de los cuerpos y el análisis de conceptos-magnitudes como la temperatura y la densidad. Los contextos de análisis corresponden a las diferentes dimensiones en las que los episodios seleccionados pueden ser abordados en la clase de ciencias de nivel básico y medio. Para su implementación, se diseñaron tres contextos de análisis: el disciplinar, el de la Naturaleza de las Ciencias (NdC) y el pedagógico-didáctico. En la tabla 4.2 se sintetizan algunos de los episodios his-

**Tabla 4.2** Ejemplos de episodios históricos y sus correspondientes contextos de análisis

<i>Episodios históricos (narrativas científicas)</i>	<i>Contexto disciplinar (problema de la experimentación)</i>	<i>Contexto de la NdC</i>	<i>Contexto pedagógico</i>
Fragmentos de textos de primera fuente relacionados con el proceso de medición. Campbell (1994). Duhem (2003).	El proceso de medición de magnitudes físicas. Magnitudes extensivas e intensivas.	Rol de los elementos materiales (instrumentos) en la construcción del fenómeno térmico y del fenómeno de flotación de los cuerpos (carga experimental de la teoría).	Indagación sobre las concepciones de estudiantes respecto a la actividad experimental.
Fragmentos de textos relacionados con la organización del fenómeno térmico. Black, J. (1963). Black, J. (1975). Newton, I. (1963).	Conceptos de temperatura y calor. Noción de equilibrio térmico. Calibración de los termómetros y construcción de escalas térmicas.	Rol de los sentidos en la organización del fenómeno térmico. Rol de los instrumentos de medida en la creación de efectos y fenómenos. Dialéctica de la relación experimentación-teorización.	Valoración de las explicaciones de los estudiantes. Identificación de la diversidad de las explicaciones y de los argumentos de los estudiantes.
Fragmentos de textos relacionados con la organización del fenómeno de flotación de los cuerpos. Galilei, G. (1638/2003). Arquímedes (en Vera, 1970).	Conceptos de peso específico y densidad. Principio de Arquímedes. Construcción de aerómetros y calibración de estos.	Rol de los instrumentos de medida. Reificación de los fenómenos. Dialéctica de la relación experimentación-teorización.	Valoración de las explicaciones y de los argumentos de los estudiantes. Identificación de la diversidad de estos.

tóricos abordados y las correspondientes temáticas discutidas en los diferentes contextos de análisis.

La propuesta didáctica se diseñó teniendo en cuenta la inclusión de diferentes actividades, pensadas como vía para la construcción de los datos de la investigación y su posterior análisis. Estas son: *actividades de indagación de ideas*, elaboradas con el propósito de analizar el tipo de justificaciones utilizadas por los estudiantes para construir explicaciones con las cuales expresaban sus ideas y conjeturas acerca de situaciones planteadas

sobre los fenómenos térmicos y de flotación; *actividades experimentales (guías de trabajo)*, creadas para establecer un escenario en el que, a partir de la interacción dialógica entre los participantes, se construyera el conocimiento a través de procesos o situaciones como: el debate, la ampliación de la base experiencial, la observación como una adecuación entre lo que se piensa y la experiencia sensible, y el uso y las adaptación de las representaciones para identificar y comunicar una idea o posible hallazgo; *actividades semi-presenciales*, construidas para permitir

que los participantes amplíen la experiencia por fuera del grupo de discusión e incorporen a sus familias en el desarrollo de las actividades, para posteriormente poner en consideración sus conclusiones con el grupo de discusión; *plenarias asociadas a un grupo de discusión*, pensadas como un espacio para la puesta en común, a través del debate, de las ideas desarrolladas en la realización de las actividades experimentales; estas actividades estuvieron orientadas a resaltar el carácter sociocultural del conocimiento científico. Cabe destacar que en varias ocasiones hubo la necesidad de desarrollar actividades experimentales como estrategia para el establecimiento de consensos sobre el fenómeno en construcción.

### **Hallazgos y discusión**

El análisis de los datos se realizó teniendo en cuenta los indicios construidos para cada una de las subcategorías de investigación anteriormente expuestas.

#### ***Clasificación y ordenación como base del proceso de medida***

La identificación de características comunes en fenómenos o situaciones respecto a una propiedad, vía la comparación, permite la construcción de clases (de equivalencia). La variación de ciertas características dentro de una clase hace posible su ordenación según los resultados de una comparación de los valores

que toma respecto a la propiedad elegida (Romero y Aguilar, 2013; Duhem, 2003; Campbell, 1994). Adicionalmente, para medir una magnitud física, no solo es necesario identificar atributos o cualidades, sino además construir un procedimiento concreto para su cuantificación (Duhem, 2003; Campbell, 1994). De acuerdo con estos análisis, en esta investigación se asume que la base de todo proceso de medida se encuentra en la capacidad del sujeto para clasificar y ordenar.

La flotación es un fenómeno cuya estructura respecto a un sistema de referencia (el cuerpo y el medio) se comienza a organizar (formalizar) a través de la agrupación de los cuerpos en clases: los que flotan, los que se hunden y los que quedan suspendidos. No obstante, en un medio dado, un mismo cuerpo no puede ser partícipe de más de una clase, es decir, no puede flotar y hundirse de manera simultánea. La identificación de una cualidad o variable se hace en el interior de una misma clase, determinando variaciones que posibiliten la atribución de estructuras de orden: mayor que, menor que, e igual que. Un ejemplo de lo anterior se puede observar en la siguiente actividad planteada a los estudiantes:

*Flota o se hunde. Considere varios cuerpos sólidos como: un cubo pequeño de madera tipo “guayacán guajiro”, una esfera de vidrio, un prisma grande de balsa, un prisma pequeño de plástico, una esfera pequeña de hierro, entre otros. Introdúzcalos en los líquidos presentes en la mesa (recipientes con agua,*



aceite y alcohol), y clasifique los cuerpos considerados según floten o se hundan.

Durante el desarrollo de las actividades se pudo observar cierta dificultad para consensuar una noción de “quedar suspendido”, flotar o hundirse. En los registros de los participantes se encontraron testimonios que dan cuenta de la necesidad que tuvieron de establecer criterios para determinar estas clases. Aunque los participantes concluyen que un material se hunde, de cierta manera terminan descartando la influencia del tamaño del cuerpo en ello. Al realizar ciertas acciones como cambiar el recipiente y echar más agua, terminan ratificando que la flotabilidad no estaba directamente asociada con el volumen, es decir, no es un asunto exclusivo del volumen del cuerpo, sino que es un asunto relacional entre el volumen del cuerpo y el medio en el que se coloca bajo ciertas condiciones (Guidoni y Arcá, 1987), de lo contrario no echarían más agua o no cambiarían de recipiente. La figura 4.1 ilustra algunas de las situaciones propuestas por los estudiantes cuando varían los materiales y son sumergidos en diferentes medios.

El hecho de que los participantes hayan cambiado las condiciones da a entender que están pensando en otras variables que no se reducen al volumen del cuerpo. En cierto momento, los estudiantes dan a entender que el medio es tan reducido en su volumen que toda su acción no se ejerce sobre el cuerpo, sino que es el recipiente el que interactúa; pero, el recipiente no importa, lo que importa es el medio.



**Figura 4.1** Cuerpos de diferentes materiales flotando en diferentes medios

Los participantes tratan de conformar un sistema donde interactúe el cuerpo con el medio y no con el recipiente, centrando la atención en el sistema cuerpo-medio.

### ***Uso y adecuación de representaciones***

La forma como los sujetos se comunican es a través de sistemas de representaciones, lo cual hace necesario la adecuación entre varios de ellos para poder explicar un fenómeno o posibles hallazgos. Así, el

uso de representaciones como el lenguaje (oral y escrito), la asignación numérica a propiedades o atributos, el uso de gráficas y sus respectivos análisis, no solo forman parte del proceso de medida, sino que posibilitan la construcción de conocimiento en el aula por parte de los sujetos que experimentan.

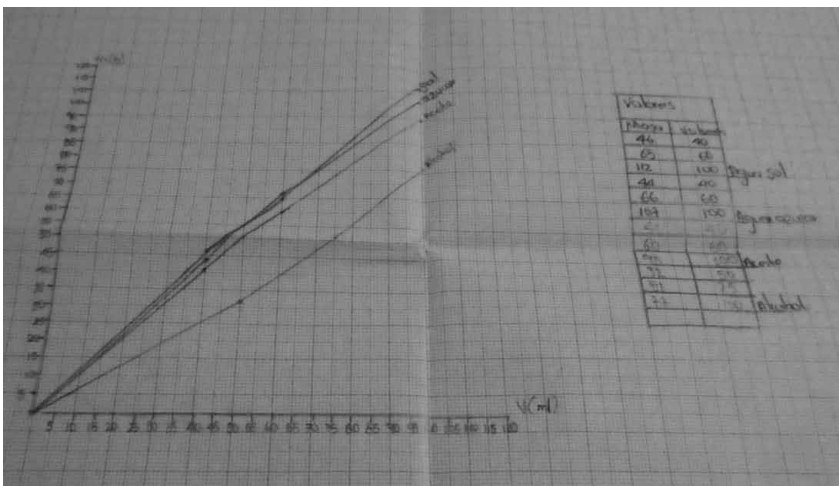
Las figuras 4.2 y 4.3 ilustran el uso de representaciones gráficas, construidas por los estudiantes para apoyar sus explicaciones de las relaciones encontradas en los fenómenos térmicos y de flotabilidad de los cuerpos.

### ***El instrumento como concreción de la organización del fenómeno***

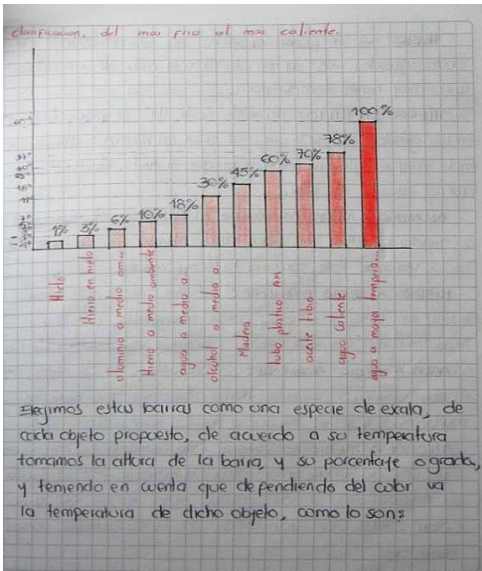
Los instrumentos y los procesos de medida posibilitan la construcción de los objetos de estudio de la ciencia (Romero,

2013). Según Velasco (1998), para que esto ocurra es necesaria una retroalimentación entre instrumento, experimento y teoría, de forma que en la producción de cualquier efecto experimental entran en juego tres elementos estructurales: un procedimiento material, un modelo instrumental y un modelo fenoménico (Pickering, citado en Romero, 2013). De modo complementario, Duhem (2003) plantea que el uso de instrumentos en sí mismos llega a ser posible solamente con la interpretación teórica de los fenómenos en los cuales se basa su funcionamiento, y distingue tres dominios del conocimiento en la ciencia: el de la experiencia, el de la teoría y el de los instrumentos y procesos de medida.

Como ejemplo para esta subcategoría, se presenta la siguiente actividad desarrollada con los estudiantes:



**Figura 4.2** Relación entre las cantidades de peso y volumen



**Figura 4.3** Explicación del proceso de ordenación de objetos y líquidos en diferentes grados de calor.

*En la cocina de nuestra casa podemos encontrar sustancias como agua, alcohol, aceite, agua salada, agua azucarada, leche líquida, entre otras. Proponga y realice un procedimiento que le permita comparar la flotabilidad de estas sustancias sin mezclarlas, utilizando el instrumento de medida. ¿En qué orden quedan las sustancias? ¿Qué criterios tuvo en cuenta para realizar el procedimiento y la ordenación?*

Por medio de actividades como la de clasificación y ordenación de sustancias según su grado de flotabilidad, y a partir de la construcción e interpretación de representaciones gráficas como la de peso vs. volumen para las sustancias de agua,

alcohol y aceite, los participantes concluyeron que la sustancia con mayor peso específico era el agua, luego le seguía el aceite y por último el alcohol. Concluyeron también que si el alcohol flota en el aceite y el aceite flota en el agua, es adecuado afirmar que el alcohol flotará en el agua como lo evidenciaron en el experimento.

Al presentárseles la dificultad con el instrumento, recurrieron a su base experiencial para resolver la situación y adecuaron sus observaciones, convirtiéndose el instrumento y los procedimientos de medida en el nexo entre la experiencia y la teoría, como lo plantea Duhem (2003). Habiendo identificado la cualidad de *peso específico* (asociada al menor o mayor grado de flotabilidad de diferentes cuerpos respecto a una misma sustancia o medio), los participantes se dispusieron a construir una escala que les posibilitara asociar la variación de esta cualidad con una cantidad (asignación numérica). Para esto, los estudiantes tomaron como punto de partida lo percibido en la experiencia, por ejemplo, el hecho de que las variaciones en la cualidad estuvieran acopladas con cambios de una cantidad (la longitud emergida), como lo enunciaron en diversas intervenciones. Para ello definieron como criterio que el bulbo del instrumento (aeómetro) debe quedar completamente por debajo de la superficie del medio (sumergirse por completo), para que la sustancia ocupe alguna posición en la escala de la columna del instrumento de medida. La figura 4.4 muestra el instrumento construido (aeómetro) su-



**Figura 4.4** Aerómetro aplicado a una cantidad de leche

mergido en una cierta cantidad de leche; la figura 4.5 muestra las escalas construidas en diferentes aerómetros.



**Figura 4.5** Aerómetros contruidos con sus respectivas escalas

Otro ejemplo de cómo el instrumento de medida está en estrecho vínculo con la experiencia y la teoría fue la calibración de termoscopios dados a los estudiantes,

los cuales contenían diferentes líquidos, como alcohol, aceite, agua azucarada y mercurio.

Luego de que los estudiantes observaran lo acaecido con los termoscopios cuando estos entraban en contacto con una mezcla de hielo y agua, o con el agua del recipiente sobre el fogón, se propuso el problema de cómo calibrarlos, para lo cual se encontró una solución muy adecuada: introducir el termoscopio en medios de diferente grado de calor, tales como una mezcla de agua y hielo, y agua en ebullición; luego de que la dilatación de la sustancia del termoscopio se haya estabilizado, marcar el nivel de dicha dilatación y dividir este segmento en partes iguales para construir una escala (ver figura 4.6). Todas estas actividades se hicieron de manera libre y espontánea, siendo la única instrucción la de calibrar y construir escalas a los termómetros. En su desarrollo los estudiantes realizaron procedimientos que concertaron en grupo y que eran orientados por la forma de trabajar las anteriores actividades; los estudiantes también recurrieron en gran medida a la información construida y las discusiones que habían tenido respecto a los fenómenos térmicos consignadas en sus apuntes.

El desarrollo, seguido de la propuesta didáctica, permitió que los estudiantes realizaran algunas interpretaciones y discusiones en torno al funcionamiento del instrumento, en relación con las características de las propiedades que deseaban medir, fundamentados en conclusiones

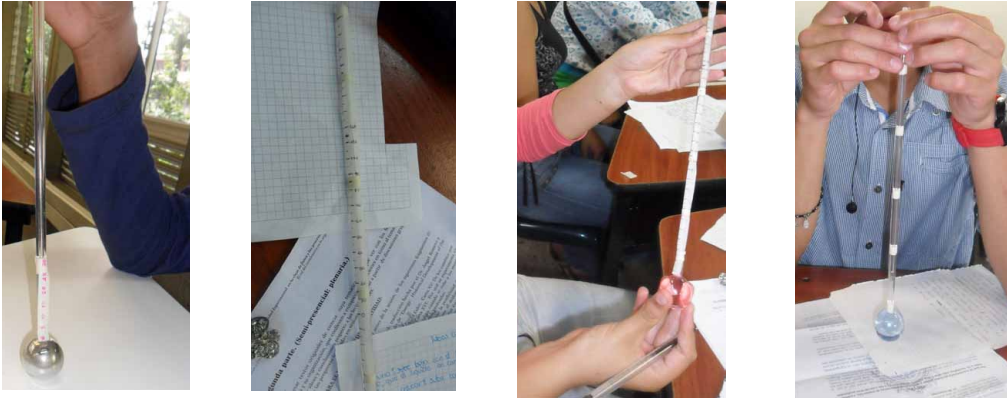


Figura 4.6 Escalas termométricas

de observaciones y actividades previas. Esto se constituye en un ejemplo de cómo la propuesta didáctica resalta la importancia del análisis de la construcción de dicho instrumento como forma de visibilizar y comprender aspectos y estructuras de una propiedad o noción, que ha sido construida consensualmente con el fin de organizar la experiencia sensible. De esta forma, como ya se había mencionado en los referentes teóricos, el fenómeno y el instrumento son construidos en relación dialógica, es decir, la construcción y el desarrollo de un instrumento supone a la vez la construcción conceptual de un fenómeno (Velasco, 1998).

***La experimentación como espacio de reflexión y construcción de explicaciones***

En el ámbito escolar, las explicaciones didácticas son entendidas como aquellas

proporcionadas por los docentes de ciencias durante su ejercicio de enseñanza o aquellas que elaboran los estudiantes cuando se les insta a dar razones ante un hecho o un fenómeno (Eder y Adúriz-Bravo, 2008; Concari, 2001), siendo estas últimas el centro de interés para el presente trabajo de investigación. De acuerdo con algunas investigaciones en el ámbito educativo, las explicaciones están ligadas a la práctica (Eder y Adúriz-Bravo, 2008; Concari, 2001) y al contexto donde tienen lugar (Gómez, 2006), situaciones específicas que pueden ser recreadas dentro del aula o evocando experiencias vividas (Arcá, Guidoni y Mazzoli, 1990) en relación con un tema en particular.

Al inicio de la implementación de la propuesta didáctica, los estudiantes se mostraron pasivos y tímidos para hablar y responder a los cuestionamientos que se les planteaban, y, consecuentemente, se presentaron pocas situaciones relacio-

nados con aspectos como la construcción de explicaciones o la evocación de situaciones cotidianas. Sin embargo, al transcurrir la propuesta se evidenció cómo algunos estudiantes fueron tomando la iniciativa de conducir la actividad y las conversaciones que surgían entre ellos, hecho que motivó a que los alumnos empezaran a ser más activos en la forma de participar y de desarrollar las actividades, privilegiando la escucha y la interacción dialógica. Como lo menciona Gómez (2006), por medio del lenguaje la explicación se va volviendo contexto, la disposición de los materiales, la organización entre ellos y la distante participación del profesor permiten que los estudiantes comprendan que sus aportes y explicaciones son el centro de la actividad y van generando confianza en todo aquello que piensan y razonan, a medida que observan y escuchan las intervenciones de los otros.

A modo de ejemplo, en una de las sesiones finales, se planteó la siguiente pregunta: ¿en qué tipo de situaciones y bajo qué parámetros puede un objeto calentar a otro?

Ante la pregunta, los estudiantes empiezan a deliberar. Inicialmente retoman una situación de su experiencia cotidiana a la cual le encuentran explicación respecto a lo cuestionado. La disposición del lugar y de las herramientas posibilita la creación de contextos, los cuales generan espacios en los que se resalta el carácter discursivo y social de la experimentación (García, 2011b; Malagón *et al.*, 2011; Romero y Aguilar, 2013), en un marco de

justificación e indagación entre los estudiantes, de acuerdo con las situaciones planteadas dentro de una actividad experimental. Es de resaltar que en dicho espacio los estudiantes contaban con una serie de materiales dispuestos de tal forma que ellos pudieran interactuar sin necesidad de seguir una ruta específica, de modo que se convirtieran en elementos con los cuales ellos mismos pudieran recrear situaciones particulares de acuerdo con la necesidad surgida en el desarrollo de una discusión.

Candela (1997), citado por Eder y Adúriz-Bravo (2008), expone que la construcción de explicaciones surge a partir de situaciones específicas que permiten la interacción social, en las cuales se generan discusiones, justificaciones y significados alrededor de una situación planteada; menciona, además, que en este espacio surgen expresiones que más que ser una descripción de una situación particular constituyen enunciados que tienen la intención de comprender la situación.

### ***La experimentación como escenario de construcción social de fenomenologías***

Para hablar de construcción social de fenomenologías, es preciso asumir una visión de la ciencia de carácter sociocultural, en la que es posible una construcción social de la realidad natural a partir de la organización de la experiencia sensible (Romero y Aguilar, 2013). En este orden de consideraciones, la actividad experi-

mental se convierte en un escenario que abre la posibilidad de un diálogo entre los estudiantes en torno a una situación particular planteada, que, al ser recreada por ellos, les exige una puesta en común del centro de interés de sus acciones, de sus interpretaciones del uso de los sentidos, de las conclusiones y demás procedimientos que se derivan del desarrollo de dicha actividad.

Un ejemplo de esto se puede observar en la siguiente actividad planteada a los estudiantes:

*Ordene de menor a mayor o de mayor a menor los siguientes sólidos y líquidos, de acuerdo con su grado de calor: una lámina de aluminio al medio ambiente, una tabla de madera al medio ambiente, un tubo de hierro (tubo T) expuesto a una cubeta con hielo, un tubo de hierro de 50 cm al medio ambiente, un tronco de plástico al medio ambiente, un litro de agua recién hervida, un vaso de agua al ambiente, aceite "tibio", un pocillo de tiner.*

Aun sin nombrar la palabra temperatura, por el grado de organización de su experiencia los estudiantes tienen una idea intuitiva de cuándo se tiene mayor o menor "grado de calor". Es importante destacar cómo los estudiantes, luego de interactuar con los diferentes objetos y líquidos, consideran importante utilizar sus sentidos para tomar la decisión de cuál tenía mayor grado de calor o cuál estaba más "caliente". Es de resaltar que en esta actividad los estudiantes solo cuentan con la información que ellos leyeron

al principio, la cual les señala el tipo de materiales que tienen y les pide ordenarlos de acuerdo con su grado de calor. En ningún momento se les sugiere procedimientos a seguir, ni cómo deben utilizar los materiales, por lo tanto ellos mismos establecen sus propios criterios, les dan valor a sus aportes o comentarios y aprueban las sugerencias respecto al tipo de acciones y cuidados que deben tener; esto les permite tener confianza en sus explicaciones, recurrir a sus experiencias y construir sus propios significados alrededor de una situación.

Es así como las explicaciones y formas de actuar durante una actividad experimental están permeadas por los consensos, derivados de la construcción de significados que se les dan a las situaciones planteadas por medio de los sentidos. El trabajo en conjunto de todos los integrantes permite no solo los consensos, sino también la posibilidad de interpretar y reflexionar en torno a un fenómeno, lo que lleva a la construcción de conocimiento en las clases de ciencias.

Este tipo de actividades convierte el salón de clases en un escenario en el que se le da mayor importancia a las reflexiones y conclusiones derivadas de la interacción entre los estudiantes, la interpretación y la significación de sus sentidos en la construcción de un consenso frente a lo que se "siente", y cómo esto permite llevar a cabo procesos importantes como la ordenación de dichos objetos de acuerdo con su grado de calor, prevaleciendo los procesos discursivos en las clases.

Como ya se ha comentado en apartados anteriores, en este trabajo de investigación se ha asumido una visión de la ciencia como una actividad social de construcción de conocimiento, la cual tiene lugar dentro de una comunidad unida por intereses y convicciones colectivas (Fleck, 1986; Kuhn, 1969), por lo cual se rechaza la idea de un trabajo individual. En consecuencia, en la propuesta pedagógica se diseñaron actividades en las que se privilegió el trabajo en equipo, de tal forma que los estudiantes debieron asumir roles y realizar aportes a fin de responder a la demanda planteada.

### **Conclusiones**

Dada la forma como se trazaron las actividades experimentales, estas permitieron que los estudiantes cuestionaran el funcionamiento del instrumento y se hicieran preguntas respecto a los elementos que lo componen, asociándolo a las conclusiones derivadas de sus observaciones durante la actividad, es decir, se puede evidenciar con estas actitudes una forma de construir conocimiento a partir del propio instrumento.

Las reflexiones suscitadas a partir de la construcción del mismo instrumento son importantes en la medida en que permite a los estudiantes cuestionarse acerca de los resultados que se obtienen con él, acerca de lo que representa, y a su vez prever futuras situaciones con respecto a las características y limitaciones que pue-

de presentar. Los estudiantes no hablan en ningún momento de la exactitud de los datos que proporciona el instrumento construido; se basan en sus observaciones para tratar de predecir la capacidad de este, es decir, analizan y valoran sus propiedades, o más bien, las características en las cuales se basa su elaboración.

Tanto la experiencia como el conocimiento de los eventos cotidianos relacionados con los casos que se estaban estudiando dan elementos a los estudiantes para construir explicaciones sobre la “capacidad de medición” que tienen los aerómetros y los termómetros (de acuerdo con el líquido o sustancia que los compone); también se puede evidenciar que el proceso mismo de construcción de estos instrumentos permitió a los estudiantes hacer aseveraciones acerca de la viabilidad de un aerómetro o un termómetro respecto a otro para realizar posteriores mediciones. La justificación de las diferentes construcciones de escalas se puede derivar de la experiencia misma de su construcción y de la forma como los estudiantes utilizan y evocan sus observaciones para justificar sus acciones.

A partir de la forma como los estudiantes elaboran las actividades propuestas, desprovistos de pasos y del cumplimiento de resultados exactos, se puede resaltar la importancia de la actividad experimental propuesta como posibilidad de construir explicaciones a partir de acciones e inferencias que se afirman o contradicen a través del desarrollo de la experiencia. Cambiar las consideraciones adelantadas



respecto a un suceso o fenómeno gracias a las diferentes observaciones y la cooperación entre pares podría constituirse en un reflejo del trabajo científico que ha sido expuesto y descrito desde una mi-

rada sociológica de la ciencia, que busca despojar dicha actividad del manto de la exactitud y la rigidez procedimental del cual se reviste la ciencia en forma general para los estudiantes.

### Nota

- 1 Ver supra, en el capítulo 2, “Sobre el papel de los instrumentos en la construcción de conocimiento”.

### Referencias bibliográficas

- Arcá, M., Guidoni, P. y Mazzoli, P. (1990). *Enseñar ciencia. Cómo empezar: reflexiones para una educación científica de base*. Barcelona: Paidós.
- Ayala, M. M., Garzón, M. y Malagón, J. F. (2008). Consideraciones sobre la formalización y matematización de los fenómenos físicos. En Ayala, M., Romero, Á., Malagón, J., Rodríguez, O., Aguilar, Y. y Garzón, M. *Los procesos de formalización y el papel de la experiencia en la construcción del conocimiento sobre los fenómenos físicos* (pp. 17-32). Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Black, J. (1963). Specific Heat, Latent Heat, of Vapour and Vaporisation. En Magie, W. F. (ed.), *A Source Book in Physics*. Cambridge: Harvard University Press. [Traducción inédita de J. F. Malagón].
- \_\_\_\_\_. (1975). The Nature of Heat. En Lindsay, B. (ed.), *Energy: Historical Development of the Concept* (pp. 190-203). Pennsylvania: Dowden, Hutchinson & Ross, Inc. [Traducción inédita de A. Romero y M. M. Ayala].
- Campbell, N. (1994). Medición. En Newman, J. (ed.), *Sigma. El mundo de las matemáticas*, t. V. Barcelona: Grijalbo.
- Concari, S. (2001). Las teorías y modelos de la explicación científica: implicaciones para la enseñanza de las ciencias. *Ciência & Educação*, 7(1), 85-94.
- Duhem, P. (2003). *La teoría física. Su objeto y su estructura* (traducción de M. P. Irazábal). Barcelona: Herder.
- Eder, M. L. y Adúriz-Bravo, A. (2008). La explicación en las ciencias naturales y en su enseñanza: aproximaciones epistemológica y didáctica. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 4(2), 101-133.
- Fleck, L. (1986). *La génesis y el desarrollo de un hecho científico* (traducción de L. Meana). Madrid: Alianza.
- Galilei, G. (1638/2003). *Diálogos acerca de dos nuevas ciencias* (traducción de J. San Román). Buenos Aires: Losada.
- García, E. (2011a). Filosofía de las prácticas experimentales y enseñanza de las ciencias. *Praxis Filosófica*, 31, 7-24.
- \_\_\_\_\_. (2011b). Modelos de explicación, basados en prácticas experimentales. Aportes de la filosofía historicista. *Revista Científica*, 14, 89-96.
- Gómez, A. A. (2006). Construcción de explicaciones científicas escolares. *Revista Educación y Pedagogía*, 18(45), 85-92.
- Guidoni, P. y Arcá, M. (1987). *Guardare per sistemi, guardare per variabili*. Turín: Emme Edizioni.

- Kuhn, T. S. (1969). Posdata. En Kuhn, T. S. (ed.), *La estructura de las revoluciones científicas* (pp. 268-319). México: Fondo de Cultura Económica.
- Latorre, A., Rincón, D. y Arnal, J. (1996). *Bases metodológicas de la investigación educativa*. Barcelona: Grafiques 92.
- Latour, B. y Woolgar, S. (1995). *La vida en el laboratorio: la construcción de los hechos científicos*. Madrid: Alianza.
- Malagón, J. F., Ayala, M. M. y Sandoval, S. (2011). Construcción de magnitudes: el caso de los fenómenos térmicos. En Malagón, J. F., Ayala, M. M. y Sandoval, S (eds.), *El experimento en el aula: comprensión de fenomenologías y construcción de magnitudes* (pp. 39-51). Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Martins, R. de A. (2007). *Philosophy in the Physics Laboratory: Measurement Theory versus Operationalism*. Brazil: State University of Campinas (Unicamp). Recuperado el 3 de febrero de 2014 del sitio web de Group of History and Theory of Science. <http://www.ghhc.usp.br/server/pdf/ram-IHSPT-measurement.PDF>.
- Newton, I. (1963). Heat. En Magie, W. F. (ed.), *A Source Book in Physics*. Cambridge: Harvard University Press. [Traducción inédita de M. M. Ayala].
- Rodríguez, L. D. (2008). De la mecánica racional a la termodinámica general o energética: la física de Pierre Duhem. En Ayala, M., Romero, Á., Malagón, J., Rodríguez, O., Aguilar, Y. y Garzón, M. *Los procesos de formalización y el papel de la experiencia en la construcción del conocimiento sobre los fenómenos físicos* (pp. 57-69). Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Romero, Á. (2013). Reflexiones acerca de la naturaleza de las ciencias como fundamento de propuestas de enseñanza: el caso de la experimentación en la clase de ciencias. En Romero, Á., Henao, B. y Barros, J., *La argumentación en la clase de ciencias. Aportes a una educación en ciencias en y para la civilidad fundamentada en reflexiones acerca de la naturaleza de las ciencias* (pp. 71-98). Medellín: Universidad de Antioquia.
- Romero, Á. y Aguilar, Y. (2013). *La experimentación y el desarrollo del pensamiento físico. Un análisis histórico y epistemológico con fines didácticos*. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.
- Shapin, S. (1990). Une pompe de circonstance. La technologie littéraire de Boyle. En Callon, M. y Latour, B. (eds.). *La science telle qu'elle se fait*. París: La Découverte. [Traducción de Germán Pineda y Jorge Charum, Universidad Nacional de Colombia].
- \_\_\_\_\_. (2000). *La revolución científica* (traducción de J. Romo). Barcelona: Paidós Ibérica.
- Stake, R. E. (2010). *Investigación con estudio de casos*. Madrid: Morata.
- Velasco, M. (1998). Experimentación y descubrimiento: algunas reflexiones desde la epistemología de la experimentación. *Revista Episteme (Porto Alegre)*, 3(6), 137-143.
- Vera, F. (1970). Arquímedes: sobre los cuerpos flotantes. En Vera, F., *Científicos griegos* (pp. 238-245). Madrid: Aguilar.

## Capítulo 5

# Actividad histórico-experimental en microbiología para la enseñanza de las ciencias

Edwin Germán García Arteaga  
Carolina Morcillo Molina

### Introducción

Las preocupaciones por la actividad experimental en el aula han sido más recurrentes en las últimas décadas para los investigadores en didáctica de las ciencias. Las preocupaciones actuales de la filosofía de las ciencias han puesto de relieve su papel, pues los casos evidenciados desde la historia lo argumentan. Desde esta perspectiva nos preguntamos: ¿qué aporta la filosofía de las prácticas experimentales a la transformación de la relación teoría-práctica existente en la formación de docentes en ciencias naturales? Nos planteamos esta interrogante porque la enseñanza tradicional parece reproducir la actividad experimental a

prácticas de laboratorio como guías o recetas sin que medie una acción reflexiva por parte del sujeto. Los enfoques constructivistas hacen énfasis en reconocer que la actividad experimental debe permitir la interacción y el aprendizaje significativo, en tanto que el sujeto construye su propio conocimiento en una relación dialéctica entre su pensar y su actuar. La literatura existente sobre la historia de las prácticas experimentales permite identificar aportes a partir de estudios de caso realizados. Presentamos aquí un estudio sobre la microbiología visto a la luz de los aportes derivados de los escritos de Louis Pasteur y su actividad experimental. Posteriormente, identificamos en las prácticas experimentales estudiadas rela-

ciones significativas con los contextos de enseñanza de la microbiología.

### **El sentido histórico de la experimentación**

Los aportes de la filosofía de las prácticas experimentales, particularmente los trabajos de Hacking (1986) y Pickering (1995), brindan nuevos elementos en torno a la reflexión sobre la naturaleza de la ciencia, los cuales, basados en estudios de caso, muestran la importancia que han tenido las prácticas experimentales en el desarrollo y la construcción misma de la ciencia. Los nuevos enfoques defienden la importancia de reconocer el papel de la experimentación y el conocimiento que se desprende de ella, un conocimiento que no es subsidiario de modelos teóricos sino que, como sugiere Hacking (1986), llega a tener vida propia en la producción misma del conocimiento científico. Recuperar el sentido de la experimentación históricamente es un elemento clave para la reorganización de los contenidos en la enseñanza de las ciencias.

Los estudios de caso presentados y sustentados por los filósofos historicistas llenan de sentido y proporcionan un argumento sólido sobre la importancia de las prácticas experimentales. Pickering (1995) considera que en la construcción del conocimiento científico siempre han jugado un papel importante tres aspectos: un procedimiento material, un modelo

instrumental y un modelo fenoménico. El procedimiento material supone disponer de los aparatos e instrumentos necesarios; verificar que funcionen y controlar su comportamiento encierra en efecto un conocimiento práctico. El modelo instrumental, por su parte, está implicado en el diseño, la realización y la interpretación de experimentos, siendo fundamental la comprensión conceptual de la forma de operar de los aparatos e instrumentos; y, finalmente, el modelo fenoménico consiste en la comprensión conceptual de los aspectos del mundo fenomenológico que están siendo estudiados por parte del investigador, y sin los cuales los resultados carecerían de sentido y significación, y no podrían ser interpretados. Reconocer estos aspectos implica una transformación de los contenidos en la enseñanza de las ciencias.

Para Ordóñez y Ferreirós (2002), la experimentación científica ha estado caracterizada siempre por experimentos cualitativos y cuantitativos o experimentación exploratoria y experimentación guiada, pero para los filósofos e historiadores de la ciencia de la escuela positivista era común solamente describir los procesos de elaboración de teorías científicas a partir de mediciones y datos cuantitativos precisos, en las que los experimentos cuantitativos eran el referente de las investigaciones; esta versión simplificada del método científico llevó a borrar del mapa la experimentación cualitativa. Los filósofos historicistas rescatan ahora el papel de los experimentos cualitativos y su incidencia

en la construcción de conocimiento, con lo que la experimentación se aleja de la vieja tradición de estar orientada por la teoría, como lo llegó a sugerir incluso Popper al afirmar que “solo cabe realizar experimentos a la luz de las preguntas y los conceptos determinados por una teoría” (citado en García, 2011b, p. 90), y pasa a tener vida en sí misma independiente de la teoría, como lo establece Hacking.

Al revisar los contenidos de la ciencias impartidos usualmente en los programas de licenciatura y también en las carreras científicas, se encuentra un predominio de la enseñanza de principios, leyes y teorías como el fundamento del conocimiento; la experimentación es relegada únicamente a ser demostrativa de dichos principios, dejando de lado la importancia manifiesta de la relación dialéctica existente entre teoría y experimentación presente en la construcción y validación del conocimiento científico, históricamente determinado.

### **La actividad experimental en el proceso de formación de profesores**

En algunos programas de licenciatura en ciencias naturales las disciplinas científicas son enseñadas por profesionales de la Facultad de Ciencias Naturales y Exactas; son ellos los que elaboran el programa académico para los diferentes cursos sin importar el tipo de profesional a quien va dirigido; simplemente se busca la apropiación y el manejo de conceptos, teorías

y métodos de cada una de las disciplinas, se separan cursos que exigen prácticas de laboratorio para mostrar herramientas y técnicas (tipo receta) sin mediar procesos reflexivos sobre la experimentación. Este tipo de enseñanza hace pensar que la relación que existe entre la teoría y la actividad experimental es que la segunda es subsidiaria de la primera y que su función es tan solo permitir observar, desarrollar un procedimiento o comprobar una teoría

La enseñanza de las ciencias en su relación teoría-actividad experimental debe ser igual tanto para los estudiantes de licenciatura de ciencias naturales como para los físicos, los químicos y los biólogos, pero necesariamente con orientaciones diferentes, ya que sus campos profesionales son también diferentes (Ridgen, 1986). Esto lleva, entonces, a que no se piense la dinámica de producción y validación del conocimiento, aspecto que cobra mayor importancia para maestros en formación, pues entender estas dinámicas es ver la ciencia como algo distinto a un producto acabado y de verdades absolutas. Es por eso por lo que en este documento se hace énfasis en que la enseñanza de las ciencias experimentales para docentes en formación debe ser distinta a la de otras carreras, pues, al tener una visión diferente de las ciencias, ha de propiciar que los maestros sean conscientes de la necesidad de construir y desarrollar estrategias significativas para la enseñanza y el aprendizaje. Lo que se pretende con este proyecto es mostrar la

importancia que adquieren las prácticas experimentales, y por ello es necesario que como docentes en formación inicial apartemos la idea clásica de que la experimentación solo es posible mediante el procedimiento del método científico, donde todo debe ser verificado y cuantificable para ser válido.

La microbiología es una de las ramas de la biología que tiene un carácter experimental por su naturaleza, pues, al tratarse de seres microscópicos, ha requerido de un arduo trabajo mediante el experimento para poder conocer y entender el comportamiento de estos. En la historia de las ciencias se puede evidenciar que las prácticas experimentales, más que ser un recurso didáctico para comprobar un hecho, obtener un producto o manipular herramientas, permiten conocer, entender o comprender un fenómeno abordado; se puede decir que la experimentación juega un papel importante en la construcción del conocimiento científico porque pone de manifiesto aspectos sociales y culturales que se deben tener en cuenta para poder entender e intervenir en las transformaciones de la ciencia.

### **La actividad experimental en las ciencias biológicas (microbiología)**

En vista de que el campo de estudio de este trabajo está relacionado con una de las áreas de la biología, se hace necesario mencionar que el desarrollo de esta disciplina cobra gran importancia gracias a los

avances científicos del siglo xx, los cuales han sido tan determinantes que han logrado caracterizarla como una ciencia madura, tan importante como la física o la química (Diéguez, 2011). Esto ha generado un cambio en la forma de trabajo tanto en el campo científico como en el campo educativo, y ha llevado a pensar en diferentes estrategias para lograr una nueva visión de esta rama del saber.

Con respecto a la experimentación, Diéguez menciona que “en muchas áreas de la biología no es posible la experimentación cuantitativa y han de emplearse otros métodos, como el comparativo, que no tienen cabida en la física” (2011, p. 1). En este sentido, es pertinente mencionar que en la enseñanza de las ciencias biológicas el modelo de experimentación tomado del método científico no tiene cabida, pues tratar de reproducir los fenómenos de la vida real es una tarea complicada, y tratar de entenderlos y comprenderlos a partir de él es aún más difícil. El experimento en la clase de biología solo ha sido utilizado como recurso para hacer registros y aprender técnicas de manipulación, lo cual es conveniente, pero deja de lado aspectos fundamentales de la actividad experimental que implican la heurística y la creatividad. Por ejemplo, el programa del curso de Microbiología para licenciados de la Universidad del Valle dice literalmente:

El componente práctico se desarrollará mediante prácticas de laboratorio, las que permitirán al estudiante aprender el manejo apropiado de los microorganismos, aislamiento, recuento e identificación de

los mismos (programa curso de Microbiología, Universidad del Valle).

Bajo estos términos se puede decir que el trabajo experimental dentro de la microbiología impartida en la mencionada universidad (aclarando que no es del tipo cuantitativo) solo busca que el docente en formación tenga un conocimiento del mundo microbiano en cuanto a la morfología y las estructuras, desde una guía detallada, paso a paso; esto contribuye a una visión rígida, algorítmica y cerrada de la ciencia.

Con esto no se pretende insinuar que esta forma de proceder en la práctica experimental está mal diseñada, pues de alguna manera ella permite obtener conocimiento. Lo que se critica es que esta manera de enseñar no permite comprender ciertos fenómenos o situaciones que se presentan en la vida cotidiana, o ser crítico ante ellos; por ejemplo, las dificultades de aprendizaje acerca de los microorganismos se evidencian en que los estudiantes no son capaces de atribuirles las transformaciones de los alimentos (Díaz-González, 1996). Otra de tales dificultades la menciona Pulido (2006), y está relacionada con el caso microbiano: teniendo en cuenta que se trata de seres imposibles de observar a simple vista, se determinan concepciones predominantes en los estudiantes acerca de lo vivo y lo no vivo. El “modelo de ser vivo” podemos relacionarlo con un moho y un elefante, y, a continuación, es lógico preguntarnos ¿cómo se alimentan los mohos? (pues-

to que ya sabemos cómo se alimentan los elefantes y también sabemos que un moho no puede alimentarse de la misma manera, pero debe hacerlo).

Se podría aventurar que estas dificultades están relacionadas con la manera como se enseña la microbiología, lo cual podría ser un punto de reflexión para los docentes en formación inicial, pues es importante analizar de qué manera esta es transmitida y si la experimentación tiene vida propia (Hacking 1996). ¿Por qué empeñarse en llevar al aula modelos metódicos que aíslan el proceso de construcción del conocimiento?

### **Historia de las ciencias, historia de la microbiología**

El asentamiento de la microbiología como ciencia está estrechamente ligado a una serie de controversias seculares (con sus numerosas filtraciones desde la filosofía e incluso desde la religión de la época), que se prolongaron hasta finales del siglo XIX. La resolución de estas polémicas dependió del desarrollo de una serie de estrategias experimentales fiables (esterilización, cultivos puros, perfeccionamiento de las técnicas microscópicas, etc.), que a su vez dieron nacimiento a un cuerpo coherente de conocimientos que constituyó el núcleo aglutinador de esta área. El reconocimiento del origen microbiano de las fermentaciones, el definitivo abandono de la idea de la generación espontánea y el triunfo de la teoría germinal de la en-

fermedad representan las conquistas definitivas que dan carta de naturaleza a la joven microbiología en el cambio de siglo. En este apartado nos centraremos en el papel de los microorganismos en las fermentaciones, haciendo uso de la historia de la ciencia desde los trabajos realizados por Luis Pasteur.

### ***Análisis histórico de los microorganismos en la fermentación***

Los estudios sobre la fermentación inician en la destilería con la fermentación del azúcar de remolacha. El término *fermentación* se aplicaba de un modo general a los cambios espontáneos que ocurren a veces en soluciones orgánicas y que dan por resultado la producción de sustancias alcohólicas o ácidas (por ejemplo, la producción del alcohol durante el proceso del vino, la cerveza o la sidra se llama fermentación alcohólica, la conversión del vino o sidra en vinagre se denomina fermentación de ácido acético y la acidificación de la leche, durante la cual el azúcar presente en esta se convierte en ácido láctico, se conoce como fermentación de ácido láctico). Se observaba que otras sustancias naturales sufrían cambios, los cuales se atribuían a la putrefacción, algo similar a la fermentación pero que difería por los productos formados, los cuales se hacían evidentes debido a las emanaciones malolientes. Tanto en la fermentación como en la putrefacción actuaban fermentos o catalizadores que

desde Berzelius eran los responsables de la producción del alcohol, conocido bajo el nombre de "levadura". Este proceso fue estudiado inicialmente por alquimistas (Thénard y Dumas) en la conversión del jugo de caña de azúcar en alcohol. Estos obtuvieron posteriormente una fórmula que aparecía tan exacta que daba la ilusión de que la naturaleza fundamental del fenómeno había sido finalmente descubierta. Según Lavoisier (1948), el azúcar se descomponía en dos partes, una de las cuales era oxidada a expensas de la otra con la consecuente formación de ácido carbónico, mientras que la segunda parte, al ceder su oxígeno a la primera, constituía la sustancia combustible, el alcohol.

Pasteur, como químico, estaba confiado en que más allá de la reacción química, la fermentación se debía a que la levadura era un ser vivo y era esta la que se encargaba de fermentar la sustancia. Él mostró que los productos de la fermentación alcohólica eran más numerosos y complejos de lo que señalaban los simples términos de la fórmula química de Lavoisier.

Estudios anteriores a Pasteur indican que en 1835 Cagniard de Latour había observado que la levadura producida durante la fermentación constaba de organismos celulares vivos que se multiplicaban por gemación, y fue él quien sugirió que la vida de estas células estaba íntimamente asociada con el proceso de la fermentación (Pasteur, 1861).

En 1837 fue publicada otra memoria sobre el mismo tema por F. T. Kützing, quien, al igual que Cagniard de Latour,



fundaba sus opiniones en observaciones microscópicas; consideraba la levadura como un organismo vegetal y describió su aspecto exacto. Según él, la fermentación alcohólica dependía de la formación de la levadura, cuya cantidad aumentaba siempre que estuvieran presentes los elementos necesarios y las condiciones adecuadas para su propagación. Decía que los químicos debían separar la levadura de la lista de los compuestos químicos debido a que no es uno de estos, sino un cuerpo organizado, un organismo (Dubos, 1953).

Para el año 1857 Pasteur ya tenía una exposición completa de la teoría del germen, y propuso la metodología de su experimentación. Desgraciadamente, se conoce pocos datos que indiquen el desarrollo de esta magnífica realización intelectual y que nos revelen en particular cómo superó, en su propia mente, la presión de la opinión científica autorizada y llegó a adoptar una interpretación biológica de un fenómeno que se describía en todos los libros de texto como una reacción química.

Entre sus trabajos sobre la teoría microbiana se resalta el de la conversión de azúcar en ácido láctico, reacción que es responsable de la acidez de la leche. Aunque no se explica con una demostración rigurosa de la teoría microbiana, se utiliza para hacer una analogía de la levadura con el fermento láctico, el cual tiene también una configuración organizada, aunque es diferente, más pequeña y más difícil de ver.

Pasteur (1861) mostró que se puede desarrollar el fermento en un caldo de cultivo transparente en el cual se multiplica hasta dar lugar a una población de seres vivos microscópicos cuyos individuos todos se asemejan unos a otros; lo que se destaca en los trabajos sobre fermentación del alcohol es el papel de los microorganismos que intervienen en este proceso.

Para cada tipo de fermentación existe un microorganismo específico, por ejemplo, la conversión del vino en vinagre dependía del desarrollo de una delgada película que consistía en bacterias microscópicas llamadas *Mycoderma aceti*, las cuales eran capaces de flotar en la superficie del líquido debido a su naturaleza grasa. El *Mycoderma aceti* crece mejor a temperaturas bastante altas y por esta razón la transformación de vino en vinagre se hace más rápidamente en cuartos calentados a entre 15 y 20 °C.

Pasteur encontró que las malas fermentaciones son debidas comúnmente a la contaminación de microorganismos que engendran productos indeseables. Insistió también en que las actividades de un microorganismo determinado están condicionadas por las características físico-químicas de su ambiente y que, como consecuencia, aun el propio y adecuado microorganismo puede formar productos indeseables si las condiciones de la fermentación no están debidamente controladas. El comportamiento químico de los microorganismos está regido por las condiciones nutritivas y respiratorias en que vive.

Este autor introdujo en la ciencia la idea de que existe una forma de vida que puede funcionar en ausencia de oxígeno, al observar bajo el microscopio una gota de líquido que sufría fermentación butírica. Se asombró al ver que las bacterias se hacían inmóviles en el margen de la gota aun cuando continuaban moviéndose con agilidad en la porción central. Ante esta observación, se preguntó si los microorganismos estarían tratando de evitar el oxígeno, y pronto halló que era posible retardar y hasta evitar la fermentación butírica haciendo pasar una corriente de aire a través del líquido en fermentación.

Para evitar que los microorganismos estropearan el vino, la cerveza o el vinagre era necesario inhibir su desarrollo. El conocimiento de Pasteur sobre la susceptibilidad de los microorganismos al calor le permitió identificar que el vino está siempre ligeramente ácido y que el calor es un desinfectante mucho más efectivo en un medio ácido que en uno neutro; así, en temperaturas tan bajas como las de 55 °C se encontró que estas eran suficientes para mejorar la preservación del vino corriente. Pasteur concluyó que el calor no tiene por qué afectar en forma perjudicial el sabor del vino si se aplica únicamente después de que se ha agotado el oxígeno originalmente presente. Parte de ello es lo que hoy en día conocemos como pasteurización.

El aislamiento, cambio y desarrollo de los cultivos microbianos tuvieron que hacerse sin la ayuda del equipo bacteriológico, no había autoclaves, el uso de las placas de gelatina y de agar no se había

introducido aún. Pasteur encontró nuevas especies de microorganismos diferenciándolos por sus estados fisiológicos y pudo diagnosticar las enfermedades del vino vinagre y de la cerveza.

La investigación sobre las fermentaciones llevó a Pasteur a familiarizarse con el mundo práctico y pronto desarrolló un profundo conocimiento acerca del poder del método científico para aumentar la efectividad de las operaciones técnicas. No compartía la creencia común de que la ciencia pura y la ciencia aplicada correspondían a dos formas independientes de la actividad intelectual, demandando diferentes dotes para aquellos dedicados a cada una de ellas. No hay tal diferencia entre la ciencia pura y la aplicada, solo hay una ciencia y sus aplicaciones.

### ***Actividad experimental sobre microorganismos en la fermentación en Pasteur***

Del contacto con los industriales de la región y de su ejercicio como docente, surgieron los estudios sobre las fermentaciones (alcohólica, láctica y del ácido tartárico). Pasteur (1861) demostró que la fermentación alcohólica, es decir, el desdoblamiento del azúcar en alcohol y anhídrido carbónico, se debía a la acción de un organismo viviente.

La interpretación del fenómeno era explicada en los siguientes términos:

Los químicos han descubierto hace veinte años un conjunto de fenómenos verdaderamente extraordinarios, designados bajo

el nombre genérico de *fermentaciones*. Todos estos fenómenos exigen el concurso de dos materias: una llamada *fermentable*, tal como el azúcar, y otra *azoada*, que es siempre una sustancia albuminoide. Ahora bien, he aquí la teoría aceptada universalmente: las materias albuminoides sufren, cuando han sido expuestas al contacto del aire, una alteración, una oxidación particular, de naturaleza desconocida, que les da el carácter de *fermento*, es decir la propiedad de obrar después, por su contacto, sobre las sustancias fermentables (Pasteur, 1861 p. 36).

Se toma como ejemplo de fermento el más notable de la época, uno que se sabía ya organizado: la levadura de cerveza, en la cual, al igual que en otras fermentaciones descubiertas, no se había podido detectar la existencia de seres organizados, incluso buscándolos con cuidado. Se aplicaba entonces a la levadura de cerveza la teoría general mediante este razonamiento: “no es porque sea organizada por lo que la levadura de cerveza es activa; lo es porque ha estado en contacto con el aire. Es la porción muerta de la levadura, la que ha vivido y está en vía de alteración, la que obra sobre el azúcar” (Pasteur, 1861, p. 37).

Así, para lo químicos el proceso de fermentación se resumía en una reacción química y el azúcar se descomponía en dos partes, como se ha señalado más arriba. Esta explicación no es muy convincente para Pasteur, y aunque también era químico, él argumentaba:

Mis estudios me llevaban a conclusiones completamente diferentes. Comprobaba que todas las fermentaciones propiamente

dichas, viscosas, láctica, butírica, la fermentación del ácido tartárico, del ácido málico, de la urea..., coincidían siempre con la presencia y multiplicación de los seres organizados. Y lejos de que la organización de la levadura de cerveza fuese una cosa embarazosa para la teoría de la fermentación, era por eso mismo, al contrario, por lo que entraba en la ley común y era el tipo de todos los fermentos propiamente dichos. En mi opinión, las materias albuminoides no eran nunca fermentos sino el alimento de los fermentos. Los verdaderos fermentos eran seres organizados (Pasteur, 1861, p. 37).

Para sus estudios, Pasteur ideó varios experimentos con diferentes sustancias o materias primas y a la vez fue necesario crear o diseñar elementos materiales e instrumentales para poder realizar los estudios; al final, esto lo llevó a conocer diferentes organismos inferiores vivientes.

### ***Descripción del diseño material e instrumental***

La actividad experimental de Pasteur fue prolífica respecto a la fermentación. A continuación se presenta el análisis de algunos experimentos que resultan significativos para nuestro propósito, extraídos de sus memorias (1861).

#### ***Experimento 1***

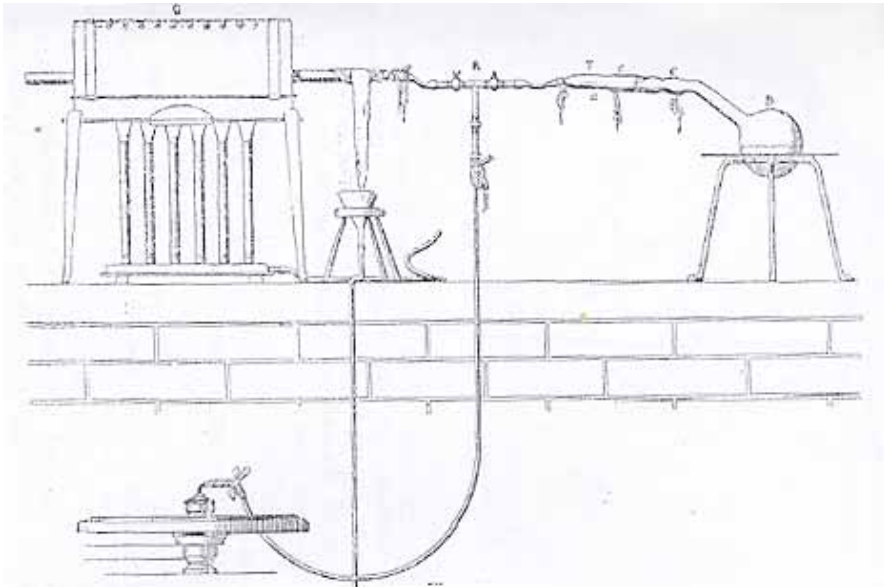
Pasteur presenta el instrumento que ha diseñado para purificar muestras, donde T es un tubo de cristal fuerte, de 10 a 12 milímetros de diámetro inferior, en el que ha colocado una punta de tubo de peque-

ño diámetro  $a$ , abierto en sus extremidades, libre para deslizarse. R es un tubo de latón en forma de T, provisto de llaves, una de las cuales comunica con la máquina neumática, otra con el tubo de platino y la tercera con el tubo T. C, por su parte, representa el tubo de goma que une el matraz B con el tubo T, y G representa el calorífico de gas. Entonces, en un matraz de 250 a 300 centímetros cúbicos, introduce de 100 a 150 centímetros cúbicos de líquido, como lo muestra la figura 5.1.

El cuello delgado del matraz comunica con un tubo de platino calentado

al rojo. Se hace hervir el líquido durante dos a tres minutos, después de lo cual se lo deja enfriar por completo. Luego, el matraz, del cual todas las partes han sido puestas al rojo, se llena de aire ordinario a la presión de la atmósfera; después, se cierra con la lámpara el cuello, que adquiere entonces la forma indicada en la figura 5.2.

El matraz, así preparado, se coloca en una estufa a una temperatura aproximada de 30 °C; puede conservarse indefinidamente, sin que el líquido que contiene experimente la menor alteración.



**Figura 5.1** Instrumento para purificar muestras

Fuente: Pasteur, L. (1861). Mémoire sur les corpuscules organisés qui existent dans l'atmosphère. Examen de la doctrine des générations spontanées. *Annales des Sciences Naturelles*, 4(16), p. 54.



**Figura 5.2** Cuello de matraz calentado y cerrado

Fuente: Pasteur, L. (1861). Mémoire sur les corpuscules organisés qui existent dans l'atmosphère. Examen de la doctrine des générations spontanées. *Annales des Sciences Naturelles*, 4(16), p. 56.

### **Actividad experimental con diferentes muestras**

Pasteur (1861) llevó a cabo los experimentos con muestras tales como agua de levadura azucarada, orina y leche, de las cuales se obtuvieron resultados diferentes en cuanto a la aparición o no de infusorios; por ejemplo en la orina y en el agua de levadura azucarada, llevados a ebullición a 100 °C durante dos o tres minutos, y luego expuestos al contacto del aire que ha sufrido la temperatura roja, no se observa ninguna alteración.

El 10 de abril de 1860, preparo un matraz de leche con el aparato de la imagen 1. La ebullición ha durado dos minutos, desde el momento en que el vapor de agua había calentado ya bastante la parte delgada del cuello para que no se la pudiese resistir con la mano. Después del enfriamiento del líquido, se cierra con ayuda de la lámpara el cuello del matraz, como de ordinario, y se

lleva a una estufa a la temperatura de 25° a 30°.

El 17 de abril, la leche de este matraz está cuajada. Ninguna apariencia de desprendimiento de gas. Corto el cuello con ayuda de una lima. Débil olor de leche cuajada. El suero es tan alcalino como la leche fresca. Examinado al microscopio, lo encuentro lleno de vibriones de una misma especie, pero de longitudes muy variables. Tienen un movimiento lento, sinuoso; no hay en absoluto *bacterium termo*, ni ninguna otra producción vegetal o animal. No hay pues duda de que la leche se ha cuajado bajo la influencia de la vida de esos vibriones, quizás por el hecho de la producción de un líquido análogo al cuajo. Muchísimos de estos vibriones median hasta 0,05 mm; los más pequeños tenían 0,004 mm de longitud. Muchos carecían de movimiento.

El análisis del aire del matraz ha dado Oxígeno: 0,8; Ácido carbónico: 17,2; Hidrógeno: 0,2; zoe por diferencia: 81,8, para un total de 100,0 (Pasteur, 1861, p. 90).

Resulta de este análisis que el oxígeno había desaparecido en gran parte y había sido remplazado por el ácido carbónico, sin duda alguna bajo la influencia de las respiraciones de los vibriones. El hecho de que los vibriones estén todavía vivos al abrir el matraz, aunque no hubiese 1/100 de oxígeno, muestra que la vida de estos pequeños seres continúa aunque no exista oxígeno e incluso cuando la proporción del ácido carbónico es considerable.

Las experiencias que acabamos de exponer han ofrecido siempre resultados análogos. La leche, sometida a la ebullición a 100 °C y abandonada al contacto del aire calentado, se llena después de

algunos días de pequeños infusorios, lo más a menudo de una variedad de *Vibrio lineola* (figura 5.3) y de bacterias, y, conservando completamente su alcalinidad, se cuaja.



**Figura 5.3** Infusorios observados en leche fermentada

Fuente: Pasteur, L. (1861). Mémoire sur les corpuscules organisés qui existent dans l'atmosphère. Examen de la doctrine des générations spontanées. *Annales des Sciences Naturelles*, 4(16), p. 91.

Ahora bien, la leche cuajada o putrefacta, aun hervida a 100° y expuesta al aire calentado, no era más que un accidente provocado por este hecho; al respecto Pasteur afirma (1861):

La temperatura de ebullición no había sido suficientemente elevada. Basta practicarla a 100 grados y pico, e incluso prolongarla, para que los resultados tengan toda claridad y precisión de los que hemos ya obtenido operando con el agua de levadura y orina (p. 94).

Pero queda una duda, se dirá:

¿Cómo es posible que el agua de levadura azucarada y la orina no tengan necesidad

de sufrir más que una ebullición a 100°, para que nunca se vean aparecer en ellas vibriones, al contacto del aire calentado? (p. 94).

Pues bien, bajo este interrogante Pasteur manifiesta que esto se debe probablemente a que los líquidos como el agua de levadura azucarada y la orina son muy débilmente ácidos, mientras que la leche es alcalina, por lo tanto idea un nuevo experimento.

### Experimento 2

Pasteur (1861) prepara agua de levadura azucarada y leche, solo que esta vez añade aire calcinado (1 gramo de carbonato de cal). Sobre esto comenta:

El 21 de marzo preparo seis matraces con ayuda del aparato de la imagen 1, estos contienen 10 g. de azúcar, 100 cm. cúbicos agua de levadura de cerveza y 1 g. de carbonato de cal. Después de haberlos llenado de aire calcinado los cierro con la lámpara de esmaltador y los deposito en la estufa.

El 25 de marzo, el líquido de esos matraces está turbio y todo anuncia que contiene infusorios. La turbiedad ha comenzado, en tres de ellos, desde el 23 de marzo.

Abro uno de esos matraces el 25 de marzo y encuentro, en efecto, el líquido lleno de vibriones muy pequeños, de los cuales varios se mueven visiblemente, aunque con mucha lentitud; están como enfermos.

Si ahora repetimos esos mismos ensayos haciendo hervir el líquido a 105° solamente, como lo hemos hecho hace poco con la leche, no se verá formarse en ningún caso la menor turbulencia ni mucoracea alguna (Pasteur, 1861, pp. 95-96).

Esto indica que si la leche se altera en presencia del aire calcinado, cuando no ha sufrido más que una ebullición a 100 °C, es porque es ligeramente alcalina, ya que basta con añadir un poco de creta al agua de levadura azucarada para comunicar las mismas propiedades, propiedades que no tiene nunca si es puesta a hervir sin la adición de creta. Pero ahora veamos lo que ocurre con la leche en presencia de aire calcinado, cuando se siembran los polvos del aire en la leche conservada intacta por una ebullición a cerca de 100 °C.

El 7 de abril de 1860, hago pasar a un matraz, cuya leche, hervida a 108°, ha permanecido sin alteración desde hace dos meses, una porción de un pequeño taco de amianto cargada de polvos suspensos en el aire.

El 9 y 10 de abril, la leche parece intacta, pero ya el 10 de abril por la tarde la capa mantecosa de la superficie presenta burbujas de gas. Agito el recipiente para hacerlas desaparecer; dos horas después se han formado ya nuevas burbujas. El 11, la fermentación continúa manifestándose con burbujas de gas; pero la leche no está cuajada.

El 15 de abril, la leche, sin estar cuajada, parece aclarada. Abro el matraz en la cuba de mercurio, a fin de estudiar el contenido. Del matraz sale con fuerza una cantidad notable de gas; es, pues, evidente que ha habido fermentación... Expuesta durante algunos instantes al baño maría, la leche cuaja enseguida dando un suelo completamente opaco... Al microscopio, se ven mezclados con los glóbulos de manteca una multitud de pequeños segmentos a menudo estrangulados en el medio: es la variedad alargada del *Bacterium termo*, que estaba mezclada, además al *Vibrio lineola* de pequeña dimensión (Pasteur, 1861, p. 97).

Pues bien, es un mismo diseño experimental para el estudio de diferentes muestras que dan resultados diferentes. En los párrafos anteriores se pueden evidenciar algunas modificaciones que sufre el diseño instrumental a causa de los diferentes resultados, esto es, la aparición o no de infusorios en los líquidos estudiados. Pasteur, convencido de la rigurosidad de su trabajo, no podía asimilar esos resultados, pues él mismo argumenta que “la experiencia, dirigida como he descrito en la imagen 1 [en este trabajo la figura 5.1], no falla nunca” (1981, p. 98). Muestras como la orina y el agua de levadura azucarada revelan resultados positivos, pero la leche tiene un resultado negativo, en esta última hay aparición de infusorios, con o sin modificación del instrumento y/o variables a tener en cuenta como la temperatura o tiempo de ebullición del líquido. Es importante aclarar que Pasteur no se detuvo a analizar el origen de los infusorios en la leche, argumentando que:

Yo habría deseado indagar cuál es el verdadero origen de los gérmenes de los vibriones que aparecen en la leche hervida a 100°, y luego expuesta al aire calcinado. ¿Existen esos gérmenes en la leche natural? Esto es imposible. Sin embargo, me siento inclinado a creer que pertenecen simplemente a los polvos que caen en la leche durante y después del ordenamiento, o que se encuentran siempre en los recipientes empleados para recoger la leche (Pasteur, 1861, p. 99).

Los experimentos ponen en evidencia la necesidad de argumentar los compor-

tamientos observados en el matraz para distintas sustancias, algunas con efectos positivos y otras con efectos negativos; pero sin lugar a dudas es el análisis posterior al microscopio el que permite identificar bacterias diferentes, generadas en la reacción con el aire en las sustancias a diferentes temperaturas.

### **Implicaciones para la enseñanza de la microbiología**

Los aspectos identificados permiten pensar en nuevas formas de experimentar en microbiología. En este sentido, el análisis histórico-crítico del estudio de caso se hace con una finalidad pedagógica, pues en este se identifican las problemáticas y las experimentaciones y esto a su vez es lo que permite plantear y proponer una nueva visión de la actividad experimental en el aula de clase.

En otras palabras, se trata de superar la imagen de la ciencia y de la actividad científica que fueron heredadas de la corriente positivista, porque, como argumenta Romero (2013), la actividad experimental en el proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias no puede abordarse de manera independiente y desarticulada de la actividad de construcción conceptual.

En este sentido, se tienen en cuenta las sugerencias de García y Estany (2010) cuando manifiestan que es necesario plantear experimentos que involucren problemáticas y que tengan una riqueza

conceptual en sí mismos (vida propia), esto es, plantear experimentos que permitan explorar e indagar sobre el comportamiento de un determinado fenómeno, pero que se comprenda y entienda que detrás del experimento se esconde una gran riqueza en términos del conocimiento.

La propuesta que se plantea en este trabajo recoge los aspectos de la teoría de contenidos (García, 2011a), pero en este caso enfocados hacia la práctica experimental. Los aspectos a tener en cuenta son: i) los objetivos, ii) los procesos epistemológicos, iii) los criterios y iv) los núcleos temáticos.

### **Los objetivos**

La microbiología es una de las ciencias que por su naturaleza facilita pensar esa nueva manera de experimentar, por ejemplo lo que se busca con el desarrollo de la propuesta es que el investigador comprenda el papel de los microorganismos en el proceso de fermentación. Además, que este sea capaz de reflexionar sobre su propio conocimiento y, con esto, se identifique como una persona (docente) capaz de orientar el proceso de construcción del conocimiento, de transformarlo, de dinamizarlo y de involucrar a los estudiantes en este sentido.

La propuesta se basa en el planteamiento de experimentos basados en problemáticas que pueden ser reestructuradas desde la historia y la filosofía de la ciencia, la vida cotidiana o fenómenos naturales, partiendo del supuesto de que



el abordaje de las temáticas, desde las problemáticas experimentales, exige un tratamiento tanto teórico como metodológico para hallar su solución.

Por otra parte, se pretende que el docente en formación inicial se involucre en el proceso de construcción y organización de la actividad experimental, con el fin de ampliar su visión sobre el papel del experimento en la enseñanza y poder confrontar sus ideas con las que circulan tradicionalmente; en otras palabras, tener presente que el desarrollo de un resultado experimental está mediado por los instrumentos, los artefactos y el conocimiento conceptual, es decir, está relacionado con los elementos que forman parte de la dinámica de la experimentación: un procedimiento material, un modelo instrumental y un modelo fenoménico (Pickering, 1995).

La propuesta de enseñanza de la microbiología se aleja del modelo lineal y metódico, y se desarrolla en dos momentos: en el primero se presenta una situación en torno a la fermentación tomada de la historia de la ciencia, la cual servirá como referente que permitirá abordar su organización; y esto conduce a un segundo momento, el del proceso de construcción y desarrollo de la actividad experimental.

### ***Los procesos epistemológicos***

La propuesta se orienta principalmente al desarrollo de la actividad experimental, tomando como referente los estudios sobre el papel de los microorganismos en la fer-

mentación, ya que la historia y la filosofía de la ciencia demuestran cómo alrededor de estos estudios, que están relacionados con el trabajo experimental, se originó un cuerpo de conocimiento que contribuyó al desarrollo de la microbiología. Esto permite entender que a través de la actividad experimental se genera un mayor conocimiento y se puede también comprender el comportamiento de un fenómeno. Los resultados de la actividad experimental dependen además del conocimiento conceptual de los materiales, instrumentos o artefactos, los cuales juegan un papel importante. Los estudios realizados por Pasteur en torno a la fermentación brindan muchos elementos a tener en cuenta para el trabajo experimental dentro de la enseñanza de esta ciencia.

### ***Los criterios***

En las guías de laboratorio para el curso de microbiología se percibe un trabajo experimental lineal y metódico, y lo que se pretende con esta propuesta es dar un giro a ese enfoque, ya que la experimentación ha sido llevada al aula de clase hasta ahora solo para hacer registros; entonces, lo que se busca es incitar al investigador a explorar, indagar y plantear su propia ruta de trabajo para llegar al resultado, esto es, que se vaya construyendo el conocimiento a medida que se va avanzando en el trabajo. Por otra parte, se pretende que el experimentador, además de conocer la diversidad, las morfologías y las estructuras de los microorganismos,

conozca o comprenda el comportamiento de estos en los diferentes ambientes, lo que en este caso sería relacionar su acción en los procesos de fermentación.

A su vez, se pretende también que el experimentador sea autónomo para expresar su opinión y confrontarla con el grupo de trabajo, lo cual es una responsabilidad que debe desarrollar para su respectivo trabajo.

### ***Los núcleos temáticos***

El proceso de fermentación es una temática que puede tratarse de manera interdisciplinar, ya que requiere explicarse desde diferentes disciplinas para lograr una comprensión completa y no fraccionada; en este caso, el objeto de estudio se aborda de forma integral y así se logra un mayor conocimiento de este. La historia y la filosofía de las ciencias brindan elementos que pueden ser tenidos en cuenta para la enseñanza de la microbiología, por ejemplo, la acción de los microorganismos en el proceso de fermentación, que puede servir como conocimiento base en el estudio de la transformación de una sustancia en otra y del trabajo experimental que esto encierra.

La química permite entender la reacción en la que el microorganismo ataca a cierta sustancia hasta desdoblarla y transformarla en otra sustancia. La microbiología, por su parte, permite entender la acción o papel que cumple el microorganismo en el proceso de fermentación; esta disciplina, a la vez, revela otros

aspectos como la nutrición y el metabolismo de los microorganismos.

### **Modelo de la propuesta**

*El estudio de la fermentación láctica.* Se pretende estudiar e identificar el comportamiento de los microorganismos fermentadores en diferentes muestras de diferentes tipos de leche. La propuesta se desarrolla en dos momentos.

El primer momento está relacionado con el análisis del comportamiento de los microorganismos en las diferentes muestras. Para ello se toma información de la historia de las ciencias sobre la teoría del germen de la fermentación, pues, además de brindar conocimiento conceptual, se pueden identificar en ella problemáticas y experimentaciones que han de servir como base para emprender el desarrollo metodológico del proyecto.

El *modelo fenomenico* o conocimiento conceptual se expresaría bajo los antecedentes que provienen del estudio de la teoría del germen de la fermentación (fermentación alcohólica).

Las indagaciones sobre alimentos producto de la fermentación microbiana se conocen desde la antigüedad, pero en 1850 cobran mayor importancia, cuando Pasteur enfocó su atención en una de las industrias más importantes de Francia: la fabricación de vino. Al examinar muchos lotes de esta bebida, descubrió microbios de diferentes clases; en los lotes buenos encontró un predominio de cierta

clase de microorganismos; en los lotes malos o peores estaban presentes otras clases. Posteriormente, Pasteur determinó que con la selección apropiada de un microorganismo, el fabricante obtendría un producto consistente, bueno y uniforme. Para lograr esto, debía eliminar los microbios que ya estaban en los mostos y comenzar una nueva fermentación con un cultivo (masa de microorganismos en crecimiento) procedente de una cava de vino que había sido satisfactorio.

Pasteur sugirió que las clases de microbios indeseables podrían eliminarse calentando los mostos, no tanto como para estropear el aroma del zumo frutas, pero sí lo suficiente como para matar esos microbios. Descubrió que sometiendo los mostos a temperaturas de 62,8 °C (145 °F) por treinta minutos, se lograba el objetivo deseado. Este proceso se conoce en la actualidad como pasteurización.

En los párrafos anteriores, se da a conocer suficiente información para que el experimentador desarrolle su estrategia metodológica, sin olvidar el material requerido (procedimiento material) y la importancia que ha de tener para obtener un resultado (modelo instrumental).

Entonces, para dar cumplimiento al propósito planteado, se invita al investigador a que altere las variables e intervenga en diferentes procedimientos experimentales (jugar con las diferentes cepas microbianas —A, B y C—, o los diferentes tipos de muestra —1, 2 y 3—), y que también altere las condiciones de trabajo, esto es, modificar el tiempo y las tempe-

raturas. La tabla 5.1 se propone como una rúbrica que permite recolectar la información obtenida en las variaciones de tal experimento.

**Tabla 5.1** Rúbrica para recolección de información

<i>Cepa microbiana</i> vs. <i>Tipo de muestra</i>	A	B	C	<i>Condiciones de trabajo</i>
1				
2				
3				

Con esta propuesta se pretende que el experimentador busque experiencias que le permitan concluir con qué cepa, qué muestra y en qué condiciones se puede obtener un producto consistente, bueno y uniforme.

El segundo momento está relacionado con la identificación de la cepa microbiana que ayudó a obtener un buen producto, lo cual llevará al experimentador a realizar consultas sobre los procesos para identificar cepas microbianas; pero lo más importante es que el investigador se relacione con la adecuada planificación que se requiere.

La preparación previa del trabajo experimental está vinculada con el conocimiento conceptual (la temática y la metodología) que se requiere para efectuar la práctica en el laboratorio, y el resultado está ligado al conocimiento adquirido y generado. Estos tres momentos le permitirán al experimentador no solo diseñar su propia ruta de trabajo, sino además

adquirir un mayor conocimiento, y esta ha de ser la mayor riqueza, ya que al lograr comprender y entender el comportamiento del mundo, logrará que otros también lo hagan.

### **A manera de conclusión**

No puede negarse la relevancia que tiene la historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias, pues no solo permite conocer el mundo, sino que permite entender su comportamiento. Además, pone en evidencia que la actividad científica es una actividad humana en la que el investigador se involucra en las problemáticas y busca alternativas para presentar una solución. La historia de las ciencias es una valiosa herramienta para mejorar la enseñanza de las ciencias, pues permite un acercamiento más profundo de cómo es creado y validado el conocimiento científico. En este sentido, en el estudio de caso se evidencia que lo importante no es simplemente el resultado o producto obtenido en la actividad experimental, sino que detrás de los resultados participan diferentes factores como la infraestructura, el material, los instrumentos y la interacción humana.

Es importante fomentar el uso de las fuentes primarias en la búsqueda de la información directa, pues estas brindan un saber profundo que no suele ser considerado en los libros de textos utilizados para la enseñanza.

Reconocer el rol que tiene la actividad experimental en la enseñanza de las cien-

cias es resaltar la importancia que aquella cobra en la construcción del conocimiento. No es simplemente realizar trabajos experimentales en los que se siga paso a paso un procedimiento para comprobar una teoría, sino lograr crear interacciones entre la teoría y el experimento. La actividad experimental va más allá de seguir una técnica al pie de la letra para obtener un resultado, un producto, u observar estructuras o formas. Claro está que comprender esto es muy importante, pero el conocimiento obtiene una mayor riqueza cuando se adquiere con la experiencia propia: un claro ejemplo se evidencia en el estudio de caso, en el trabajo experimental que desarrolla Pasteur. Fue a través de las experiencias mismas que él emprendió, por así decirlo, el papel de los microorganismos en la fermentación, que descubrió que existen diferentes tipos de fermentación (láctica, alcohólica, butírica) y que cada una de ellas estaba relacionada con un microorganismo diferente. Con esto se puede constatar que no necesariamente la teoría está al servicio de la experiencia o viceversa; son dos procesos que van de la mano y es tan importante el uno como el otro.

Con la propuesta planteada se busca involucrar a los estudiantes en la organización y la construcción de la experiencia, con el fin de ampliar su visión sobre el papel del experimento en la enseñanza y poder confrontar sus ideas con las que circulan tradicionalmente. Es importante que el docente en formación y aquellos que se dedican a la educación y se enfrentan a las ciencias ex-

perimentales conozcan que los resultados de un experimento están precedidos por ciertos elementos fundamentales: el modelo fenoménico, el modelo instrumental y el procedimiento material. Comprender la función que cumplen cada uno de ellos es lograr reorientar el papel que se le ha dado a la experimentación en el aula de clases y valorar la riqueza conceptual que se esconde detrás de esta, pues es reconocer que el diseño, la construcción y el funcionamiento de aparatos e instrumentos también forman parte de la construcción de conocimiento.

Saber de microbiología no es simplemente conocer la gran cantidad de microorganismos, sus morfologías, etc. Saber de fermentación no es simplemente decir que es un proceso de transformación de una sustancia en otra. Saber sobre estos temas es poder relacionar y entender cómo un microorganismo actúa en una sustancia o materia prima hasta el punto de transformarla en otra. Es también darle importancia al diseño y a la elaboración de elementos que preceden a los resultados de la experiencia.

### Referencias bibliográficas

- Díaz-González, R. (1996). ¿Son los alumnos capaces de atribuir a los microorganismos algunas de las transformaciones de los alimentos? *Revista de la Enseñanza de las Ciencias*, 11(1), 33-44.
- Diéguez, A. (2011). ¿Qué es la filosofía de la biología? *Encuentros en Biología*, 4(132), 3-5. Recuperado de <http://www.encuentros.uma.es/encuentros132/filosofia.pdf>.
- Dubos, R. J. (1953). *Louis Pasteur. El francotirador de la ciencia*. México D. F.: Publicaciones Mexicanas.
- García, E. (2011a). *Las prácticas experimentales en los textos y su influencia en el aprendizaje*. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona.
- \_\_\_\_\_. (2011b). Modelos de explicación, basados en prácticas experimentales. Aportes de la filosofía historicista. *Revista Científica*, 14, 89-96.
- García, E. y Estany, A. (2010). Filosofía de las prácticas experimentales y enseñanza de las ciencias. *Revista Praxis Filosófica*, 31, 7-24.
- Hacking, I. (1986). *Representar e intervenir*. México: Paidós.
- Lavoisier, A. (1948). *Memorias de la academia de ciencias. Memorias sobre el oxígeno, el calórico y la respiración* (traducción de Juan M. Muños). Buenos Aires: Emecé.
- Ordóñez, J. y Ferreirós, J. (2002). Presentación: Hacia una filosofía de la experimentación. *Revista Theoria*, 17(44), 209-219.
- Pasteur, L. (1861). Mémoire sur les corpuscules organisés qui existent dans l'atmosphère. Examen de la doctrine des générations spontanées. *Annales des Sciences Naturelles*, 4(16), 5-98.
- Pickering, A. (1995). *The Mangle of Practice. Time, Agency and Science*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Pulido de Castellanos, R. (2006). Representaciones sociales acerca de los microorganismos en estudiantes de Licenciatura en Biología. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 19, 77-97.

- Rigden, J. S. (1986). Editorial: Physics and the American Journal of Physics. *American Journal of Physics*, 54(2), 109-109. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1119/1.14701>.
- Romero, A. (2013). Reflexiones acerca de la naturaleza de las ciencias como fundamento de propuestas de enseñanza: el

caso de la experimentación en la clase de ciencias. En Romero, Á., Henao, B. y Barros, J., *La argumentación en la clase de ciencias. Aportes a una educación en ciencias en y para la civildad fundamentada en reflexiones acerca de la naturaleza de las ciencias* (pp. 71-98). Medellín: Universidad de Antioquia.

Asumiendo como referente una mirada sociocultural de la generación y el desarrollo del conocimiento científico, la investigación de la que surge este libro buscó fundamentar propuestas de enseñanza de las ciencias contextualizadas con reflexiones metacientíficas. Así, *La experimentación en la clase de ciencias* privilegia reflexiones surgidas de la historia, la filosofía y la sociología de las ciencias como ejes para la comprensión y el análisis de los principales paradigmas del conocimiento científico y como fuente para la construcción de alternativas para su enseñanza y aprendizaje. En este enfoque se concibe la clase de ciencias como un escenario en el que es posible familiarizar a los futuros profesores —y en general a los estudiantes— con las tradiciones de la cultura científica, es decir, con los diferentes contenidos, modelos explicativos, discursos y dinámicas de las disciplinas científicas, a la vez que se promueve la constitución de una mirada crítica frente a ellos. Desde esta perspectiva, la literatura metacientífica pasa de ser un referente externo en la formación de profesores a convertirse en un elemento sustancial en su consolidación como sujetos culturales, por cuanto, además de permitir dilucidar la naturaleza y la estructura de las narraciones que llamamos científicas, proveen las condiciones para vincularlos a los procesos de construcción de significados y sentidos necesarios para incidir en la constitución de un futuro más aceptable para nuestra sociedad.

