

# Construcción de fenomenologías y procesos de formalización

**Un sentido para la enseñanza de las ciencias**

José Francisco Malagón Sánchez  
María Mercedes Ayala Manrique  
Sandra Sandoval Osorio



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA  
NACIONAL  
*Educadora de educadores*





Construcción de  
fenomenologías y  
procesos de formalización:  
**un sentido para la enseñanza de las ciencias**



**UNIVERSIDAD PEDAGOGICA  
NACIONAL**

*Educadora de educadores*



*Catalogación en la fuente - Biblioteca Central de la Universidad Pedagógica Nacional*

Construcción de fenomenologías y procesos de formalización: un sentido para la enseñanza de las ciencias. / José Francisco Malagón Sánchez ... [et.al.] -- 1ª. ed. -- Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional, CIUP, 2013 168 p.

ISBN: 978-958-8650-45-6 (Impreso)

ISBN: 978-958-8650-64-7 (Digital)

1. Enseñanza de las ciencias. 2. Fenomenología. 3. Experimentación Científica. I. Malagón Sánchez, José Francisco. II. Ayala Manrique, María Mercedes. III. Sandoval Osorio, Sandra. IV. Romero Chacón, Ángel Enrique. V. García Arteaga, Edwin Germán. VI. Marín Quintero, Miyerdady. VII. Flórez Rojano, Iván Darío. VIII. Gómez Estrella, Ana Lilia. IX. Ramírez Acosta, María Helena. X. Barragán Orjuela, Yessika Viviana. XI. Tit.

370.7 cd. 21 ed.

Construcción de  
fenomenologías y  
procesos de formalización:  
**un sentido para la enseñanza de las ciencias**

**José Francisco Malagón Sánchez**  
**María Mercedes Ayala Manrique**  
**Sandra Sandoval Osorio**



**UNIVERSIDAD PEDAGOGICA  
NACIONAL**

*Educadora de educadores*



**Construcción de fenomenologías y procesos de formalización:**

un sentido para la enseñanza de las ciencias.

© Universidad Pedagógica Nacional  
ISBN: 978-958-8650-45-6 (Impreso)  
ISBN: 978-958-8650-64-7 (Digital)  
Primera edición, Bogotá, D.C., noviembre 2013

**Autores y compiladores:**

José Francisco Malagón Sánchez  
María Mercedes Ayala Manrique  
Sandra Sandoval Osorio

**Otros autores:**

Ángel Enrique Romero Chacón  
Edwin Germán García Arteaga  
Miyerdady Marín Quintero  
Iván Darío Flórez Rojano  
Ana Lilia Gómez Estrella  
María Helena Ramírez Acosta  
Yessica Viviana Barragán Orjuela

Hecho el depósito legal que ordena la Ley 44 de 1993 y decreto reglamentario 460 de 1995.

Fecha de evaluación: 13 de abril de 2013  
Fecha de aprobación: 22 de abril de 2013

**Prohibida la reproducción total o parcial sin permiso escrito**

**Universidad Pedagógica Nacional**

Juan Carlos Orozco Cruz  
**Rector**

Edgar Alberto Mendoza Parada  
**Vicerrector Académico**

Víctor Manuel Rodríguez Sarmiento  
**Vicerrector de Gestión Universitaria**

Nohora Patricia Moreno García  
**Directora centro de investigaciones, CIUP**

Preparación Editorial  
Universidad Pedagógica Nacional  
Fondo Editorial  
Calle 72 N° 11 - 86  
Tel: 347 1190 y 594 1894  
editorial.pedagogica.edu.co

Víctor Eligio Espinosa Galán  
**Coordinador Fondo Editorial**

Maritza Ramírez Ramos  
**Editora**

Pedro José Román Hernández  
**Corrección de estilo**

Juan Manuel Martínez Restrepo  
**Fotografía de portada**

Johny Adrián Díaz Espitia  
**Diseño de Carátula y diagramación**

Impreso y hecho en Colombia  
JAVEGRAF  
Bogotá, Colombia, 2013

# Los Autores

## **José Francisco Malagón Sánchez**

Profesor del Departamento de Física de la Universidad Pedagógica Nacional. Licenciado con estudios principales en física y magister en Docencia de la Física. Miembro del grupo Física y Cultura. Actualmente coordina el proyecto de investigación *Procesos de Formalización, Representación y Construcción de Fenomenologías en la Enseñanza de las Ciencias*.

## **María Mercedes Ayala Manrique**

Profesora catedrática del Departamento de Física de la Universidad Pedagógica Nacional. Bachelor of Arts (Física y Matemáticas) del Whitman College, Estados Unidos y master of Science Physics de Indiana University, Estados Unidos. Miembro del grupo Física y Cultura. Actualmente coinvestigadora en el proyecto de investigación *Procesos de Formalización, Representación y Construcción de Fenomenologías en la Enseñanza de las Ciencias*.

## **Sandra Sandoval Osorio**

Profesora del Departamento de Química de la Universidad Pedagógica Nacional. Licenciada en Química, especialista en Docencia de las Ciencias para el Nivel Básico y magister en Educación de la Universidad Pedagógica Nacional. Miembro del grupo Física y Cultura. Actualmente coinvestigadora en el proyecto de investigación *Procesos de Formalización, Representación y Construcción de Fenomenologías en la Enseñanza de las Ciencias*.

## **Ángel Enrique Romero Chacón**

Profesor de la Facultad de Educación de la Universidad de Antioquia. Ph.D. en Epistemología e Historia de las Ciencias y las Técnicas, en la Universidad de Paris VII (Paris, Francia). Licenciado en Física y magister en Docencia de la Física de la Universidad Pedagógica Nacional. Coordinador del grupo de investigación *Estudios Culturales sobre las Ciencias y su Enseñanza - ECCE*. Actualmente, coordinador del programa de Maestría en Educación en Ciencias Naturales de la Universidad de Antioquia.

## **Edwin Germán García Arteaga**

Profesor del Instituto de Educación y Pedagogía de la Universidad del Valle. Licenciado en Física y magister en Docencia de la Física de la Universidad Pedagógica Nacional. Master y doctor de la Universidad Autónoma de Barcelona (España) en Didáctica de las Ciencias Experimentales. Coordinador del grupo de investigación Ciencia, Educación y Diversidad en la Universidad del Valle.

## **Miyerdady Marín Quintero**

Profesora ocasional del Instituto de Educación y Pedagogía. Licenciada en Biología y Química, especialista en la Enseñanza de las Ciencias Naturales y magister en Educación con énfasis en la Enseñanza de las Ciencias Naturales de la Universidad del Valle. Actualmente participa en el proyecto *Prácticas Experimentales y Textos de Ciencias, en el área de Ciencias Naturales y Tecnologías de la Universidad del Valle*.

## **Iván Darío Flórez Rojano**

Docente de matemáticas en el Colegio Técnico Comercial Manuela Beltrán, I.E.D. Profesor catedrático de la Licenciatura en Educación Básica con énfasis en Matemáticas en la Universidad Santo Tomás y profesor catedrático de la Universidad Pedagógica Nacional. Licenciado en Matemáticas, especialista en Docencia de las Ciencias para el Nivel Básico y magister en Docencia de las Ciencias Naturales de la Universidad Pedagógica Nacional.

## **Ana Lilia Gómez Estrella**

Docente de Ciencias Naturales y Educación Ambiental en el Colegio Jorge Soto del Corral I.E.D. Licenciada en Biología, especialista en Docencia de las Ciencias Naturales para el Nivel Básico y magister en Docencia de las Ciencias Naturales de la Universidad Pedagógica Nacional.

## **María Helena Ramírez Acosta**

Licenciada en Física de la Universidad Pedagógica Nacional. Durante sus estudios de licenciatura se vinculó como auxiliar de investigación a los proyectos *La Experimentación en el Aula y los Procesos de Formalización 2011-2012* y *Procesos de Formalización, Representación y Construcción de Fenomenologías en la Enseñanza de las Ciencias 2013*.

## **Yessica Viviana Barragán Orjuela**

Licenciada en Física de la Universidad Pedagógica Nacional. Durante sus estudios de licenciatura se vinculó como auxiliar de investigación a los proyectos *La Experimentación en el Aula y los Procesos de Formalización 2011-2012* y *Procesos de Formalización, Representación y Construcción de Fenomenologías en la Enseñanza de las Ciencias 2013*.



# Tabla de contenido

Introducción	9
--------------	---

---

## Capítulo 1.

La historia en la enseñanza de las ciencias: una relación polémica	21
--	----

José Francisco Malagón Sánchez  
María Mercedes Ayala Manrique  
Sandra Sandoval Osorio

## Capítulo 2.

La experimentación como potenciadora de reflexiones sobre la naturaleza de las ciencias	37
---	----

Ángel Enrique Romero Chacón

## Capítulo 3.

Pensar y actuar en el aula. La construcción de conocimiento a través de la experimentación: el caso de la combustión	55
--	----

Miyerdady Marín Quintero  
Edwin Germán García Arteaga

## Capítulo 4.

La actividad experimental: construcción de fenomenologías y procesos de formalización	85
---	----

José Francisco Malagón Sánchez  
María Mercedes Ayala Manrique  
Sandra Sandoval Osorio

## Capítulo 5.

Fenomenología asociada al ver **103**

Ana Lilia Gómez Estrella  
Iván Darío Flórez Rojano

## Capítulo 6.

Estrategias en el aula: de la experimentación a la  
formalización de los fenómenos naturales **133**

Yessica Viviana Barragán Orjuela  
María Helena Ramírez Acosta

---

## Consideraciones finales

José Francisco Malagón Sánchez **161**  
María Mercedes Ayala Manrique  
Sandra Sandoval Osorio

# Introducción

Este libro presenta la segunda fase del trabajo de investigación que se ha desarrollado desde 2005 sobre la relación entre el experimento, la construcción de fenomenologías, construcción de magnitudes, formas de medición y desarrollo de procesos de formalización, con el fin de proporcionar elementos para hacer propuestas significativas y contextualizadas para las clases de ciencias. Se ha contado con la colaboración del Grupo de Investigación Ciencia, Educación y Diversidad –CeyD– de la Universidad del Valle y del Grupo de Estudios Culturales sobre las Ciencias y su Enseñanza –ECCE– de la Universidad de Antioquia.

## **El experimento y la formalización en el aula**

El experimento y la formalización han sido considerados rasgos característicos de las llamadas ciencias empíricas, si bien se considera que hacen parte de actividades radicalmente diferentes; una se le relaciona con el mundo de lo sensible y la otra con el mundo de las ideas. ¿Qué vínculo se puede establecer entre ellas y cómo es posible dicho vínculo?, son interrogantes planteados y enfrentados por científicos, filósofos, historiadores y maestros; contestados de diferentes maneras. En el contexto pedagógico, se requiere responder, en especial, a la pregunta sobre el tipo de análisis de la actividad experimental y de los procesos de formalización que debe adelantarse con el fin de aportar elementos para orientar los complejos procesos cognitivos al enseñar ciencias, o más específicamente, sobre los aspectos de las actividades experimentales y de formalización que pueden resultar pertinentes para este propósito.

Por la intencionalidad pedagógica que orienta el trabajo de investigación, se ha privilegiado el contexto de construcción o producción del conocimiento; donde más que los productos (teorías y experimentos), se examinan las actividades de formalización y de experimentación así como las relaciones entre ellas.

Ahora bien, la forma de abordar la formalización en el aula se suele centrar en definiciones, enunciados y algoritmos, perspectiva que dificulta a los estudiantes elaborar procesos de formalización que puedan articular a la organización de su experiencia. Los estudiantes tienen dificultades en la elaboración de estos procesos puesto que, generalmente, manejan algoritmos que si bien les permite operar las relaciones que se establecen entre variables, dichos algoritmos no les aportan mayor información sobre la organización de las fenomenologías abordadas que sintetizan. De otra parte, la actividad experimental en el aula se suele limitar a la constatación de las relaciones entre las variables estudiadas y al aprendizaje de una serie de procedimientos de medición y de tratamiento de datos.

Ubicados ahora en el marco general del devenir del conocimiento científico, algunos autores han hecho notar el privilegio que se le ha dado a la teorización en el entendimiento de la actividad científica y cómo tal privilegio ha limitado la importancia y comprensión de la experimentación en la ciencia (Ferreiros & Ordoñez, 2002). La relación teoría-experimento es y ha sido un eje para el análisis del papel del experimento en la actividad científica. En este sentido, el papel asignado al experimento ha oscilado entre dos posiciones extremas: el experimento visto como un medio para validar el conocimiento que se tiene de los fenómenos naturales o como base para la elaboración del conocimiento sobre los mismos. En un caso, se parte de la separación entre teoría y práctica, entre el mundo de las ideas y el mundo sensible. Se considera que mediante el experimento se establece un nexo entre estos dos mundos y que el experimento es el juez de la teoría en tanto que a través de este se refutan o verifican las predicciones basadas en la teoría. Desde esta perspectiva, la teoría es condición de posibilidad del experimento: mediante esta se define en qué consiste, qué efectos producir, qué se debe observar y medir. En el otro caso, se considera el experimento como fuente del conocimiento. Sin embargo, como bien lo muestran los estudios histórico filosóficos, tal relación está lejos de ser tipificada de esta forma rígida, pues es una relación compleja y dinámica (Malagón *et ál.*, 2011).

Un análisis con fines pedagógicos de estudios históricos de esta relación permite destacar y diferenciar nuevas facetas sobre las formas que adopta el experimento y la relación que guarda con la teoría. Así, examinando el análisis que diversos autores hacían de tal relación en el siglo XVIII y comienzos del XIX se encuentra (Malagón *et ál.*, 2011):

- Que la actividad experimental orientada a ampliar la experiencia sensible se diferencia sustancialmente de aquella dirigida a contrastar hipótesis, donde los

resultados experimentales se pueden prever a partir ya sea de una elaboración teórica propiamente dicha o de las predicciones que se pueden derivar de la organización lograda de la experiencia cotidiana.

- Una actividad experimental orientada a detectar el efecto de propiedades, a visualizar fenómenos inaccesibles de manera directa y a exhibir rasgos y peculiaridades de los fenómenos que se constituyen en su misma representación<sup>1</sup>.
- Una actividad experimental orientada a hacer uso de la organización conceptual lograda para analizar la operación de dispositivos y mejorar su funcionamiento y avanzar en la exploración de un fenómeno<sup>2</sup>.
- Cómo mediante el desarrollo de procesos de medición y aplicación de principios generales se pasa del plano cualitativo al cuantitativo, en el que se matematizan las cualidades observadas.

Igualmente se ha venido caracterizando la importancia de la actividad experimental en el ámbito de la enseñanza de las ciencias, y uno de los roles que se han examinado con detalle es el vínculo con la construcción de magnitudes y fenomenologías<sup>3</sup>. En este sentido, se ha planteado que el experimento juega un papel central en la enseñanza dado que posibilita desarrollar tres aspectos que están íntimamente ligados, pero que se pueden diferenciar por el énfasis hecho. En primer lugar, el experimento permite la organización de la experiencia y los procesos vinculados a la construcción de magnitudes y formas de medida. En segundo lugar, el experimento permite proponer problemas conceptuales en torno a la organización de los fenómenos. Por último, la actividad experimental propicia la construcción o ampliación de una base fenomenológica o entramado de hechos de observación que serían estructurados a partir de una cierta organización conceptual.

Este planteamiento, a su vez, tiene como base las reflexiones y caracterización de los procesos de formalización desarrolladas en proyectos anteriores<sup>4</sup>, los cuales se consideran centrales en la comprensión de los fenómenos científicos. En estos estu-

---

1 El trabajo en torno a los fenómenos electromagnéticos desarrollado en los siglos XVIII y XIX ilustra esta perspectiva.

2 Véase al respecto el instrumental desarrollado por Faraday.

3 *Proyecto de Facultad (FCT) 2006, Proyecto de Investigación CIUP 2007-2008, Proyecto de Investigación CIUP 2009-2010, Proyecto de Facultad (FCT) 2010 y Malagón et ál. (2011).*

4 Las principales conclusiones se encuentran en Ayala et ál. (2008). Esta publicación es producto de los resultados de investigación en el proyecto UDEA-UPN 2004-2007: *Los procesos de formalización y el papel de la experiencia en la construcción del conocimiento sobre los fenómenos físicos: el caso de los fenómenos mecánicos.*

dios se diferencian cuatro clases o tipos de formalización tomando como ejemplo los procesos de construcción de los fenómenos físicos:

- Formalización de carácter pragmático, en la cual se considera que “el pensamiento y el conocimiento tanto individual como social se organiza a través del lenguaje como herramienta organizadora de todas aquellas connotaciones que puede tener una experiencia, tal organización es en sí misma una formalización, ya que se da forma a estructuras subyacentes que han sufrido el mismo proceso de organización con anterioridad... En términos generales, se genera en las prácticas cotidianas de comunicación, es decir, es de carácter pragmático, se hacen clasificaciones, distinciones, selecciones, etc. <<Mirar por clases, o por variables, o por sistemas... implica siempre un proceso correspondiente de mirar imponiendo una forma, según una lógica preconstituída, a la ‘forma primaria’ que las cosas parecen tener>> (Arca & Guidoni, 1987: 138). Y esto es lo que se hace normalmente” (Ayala *et ál.*, 2008: 22).
- Aplicación de una estructura formal al análisis de fenómenos, caso en el cual se reconoce una estructura formal y se construye la posibilidad de formalizar el fenómeno en términos de dicha estructura. “Corresponde a procesos cognitivos en los que se reconoce que formalizar no se limita a sobreponer una estructura formal o una estructura matemática a un fenómeno para analizarlo y comprenderlo, sino que se requiere ante todo construir la posibilidad misma de formalizarlo y matematizarlo, es decir, de construir las magnitudes, relaciones, etc. con la que damos cuenta del fenómeno”<sup>5</sup> (Ayala *et ál.*, 2008: 23).
- Axiomatización de las teorías y unificación de campos fenoménicos en la cual se hace una organización bajo una estructura lógica formal que permite examinar los grados de validez al jerarquizar las teorías, que se reconoce como axiomatización o formalización matemática de las teorías. En este caso se construyen principios generales que pueden implicar otros diversos principios y que organizan y unifican a su vez diversos campos fenoménicos; por ejemplo, el principio de conservación de la energía es organizador de campos fenoménicos como el correspondiente a la termodinámica, al electromagnetismo o a la termoquímica (Ayala *et ál.*, 2008: 25).

---

5 El papel de las matemáticas en su relación con las ciencias se suele reconocer en el hecho de que las propiedades o cualidades consideradas en los sistemas son cuantificables y que estas magnitudes o variables son los términos a partir de los cuales son enunciadas las diversas proposiciones teóricas, concretándose con ellas tanto las formas de ver el mundo como los aspectos del mundo que son mirados y las relaciones entre ellos. En este sentido queda claro que la formalización de los fenómenos ya no se puede asumir únicamente como la mera aplicación de fórmulas y algoritmos matemáticos.

- Matemización de un campo fenoménico en donde el objeto de estudio son las formas de razonamiento que se están utilizando para comprender la experiencia y que es ejemplificado en trabajos como la formulación de la mecánica de Dirac. En este planteamiento resulta relevante considerar “el quehacer de las matemáticas como la explicitación y organización de las formas y estrategias utilizadas por el sujeto para organizar y razonar sobre su experiencia” (Ayala *et ál.*, 2008: 28).

En este camino se ha visto importante profundizar la relación entre la actividad experimental y los procesos de formalización, buscando construir un panorama para la enseñanza de las ciencias caracterizado por la ruptura de la dicotomía teoría-práctica que los maestros de ciencias suelen asumir como estructura natural en la clase.

En este marco se ha buscado de manera especial hacer explícita la ligazón existente entre los procesos de organización de fenomenología, los procesos de formalización y la actividad experimental, teniendo en cuenta que la actividad de organizar y explicar la experiencia es propia de los procesos de formalización de los fenómenos, a la vez que se reconoce una relación dinámica entre la actividad experimental y la teorización sobre los fenómenos naturales<sup>6</sup>. Se reconoce, en particular, que la actividad experimental juega un papel muy importante en la ordenación de algunas cualidades, en el establecimiento de escalas de medida e instrumentos de medida, así como en la construcción de lenguajes para hablar de las fenomenologías estudiadas. Se muestra rutas en las cuales la actividad experimental puede aportar a la construcción de relaciones entre las diversas magnitudes que se elaboran o que son pertinentes en la organización fenomenológica efectuada y en los procesos de producción de generalizaciones y de teorización acerca de las fenomenologías estudiadas, así como en la conformación de nuevas fenomenologías a estudiar.

Así, los desarrollos logrados permiten poner de manifiesto, en primer lugar, la existencia de una íntima e indisoluble relación entre las magnitudes y sus formas de medida y la comprensión del campo fenoménico en el que se inscriben; en segundo lugar, que lo “sensible” está cruzado por construcciones y organizaciones “teóricas” previas o formas lógicas de organizar; y, en tercer lugar, que las organizaciones conceptuales están ligadas a las organizaciones de la experiencia sensible.

---

<sup>6</sup> En este orden de ideas, Koponen & Mäntylä (2006) asumen al menos tres momentos en la formación de conceptos científicos: conocimiento cualitativo, representación cuantitativa y explicación cuantitativa; y afirman que la actividad experimental en cada uno de estos momentos juega un papel fundamental en la generación de procesos cognitivos.

La disolución de la oposición concepto-empiría está en la base de la comprensión de la actividad experimental que se plantea en el presente trabajo. Al respecto, es importante enfatizar que en un experimento se producen una serie de efectos sensibles guiados por la comprensión que se tiene de estos; en tal sentido, el experimento es un espacio de producción de fenómenos. Es, pues, un espacio de concreción y dinamización de la actividad conceptual y formal. Los aparatos de medida no son más que formas concretas que se dan a organizaciones conceptuales ya establecidas. Las propiedades medidas y sus formas de medición son expresión de la comprensión del fenómeno estudiado. El experimento puede ser considerado entonces como una manera de emitir un juicio, donde la observación intencionada y sistemática y la medición son aspectos esenciales de este.

De otra parte, podemos afirmar que la actividad de construcción de magnitudes y formas de medida está ligada a la ampliación y organización de la fenomenología abordada y, por consiguiente, que medir una determinada magnitud se inscribe en la actividad de formalizar la explicación en torno al campo fenoménico al que está vinculada.

En este orden de ideas, examinar el proceso de construcción y reconstrucción de una magnitud, así como de sus formas de medida, permitirá simultáneamente examinar diversas rutas de constitución y ampliación de la base fenomenológica a la cual se articula, y elaborar criterios para el planteamiento de los problemas conceptuales y la orientación de los procesos de formalización y de organización de la experiencia que están a su base en la formulación de propuestas para la enseñanza de las ciencias.

En síntesis, una indagación en el sentido propuesto ha permitido allegar elementos importantes para el planteamiento, dinamización y enriquecimiento de la actividad experimental en el aula de clase. Igualmente, la reflexión sobre el papel que juega la actividad experimental en la ciencia y en la enseñanza de las ciencias ha permitido afirmar que debe ser considerada como un proceso intencional imposible de desligar de una educación en ciencias en la que se privilegie la construcción de explicaciones y comprensiones acerca de los fenómenos abordados. Así mismo, ha permitido plantear tres ejes íntimamente relacionados para la estructuración y análisis de la actividad experimental en el aula en su relación con los procesos de formalización: en primer lugar, la organización de las cualidades, la construcción de magnitudes y la elaboración de formas de medida<sup>7</sup>; en segundo lugar, la ampliación de la base fenome-

---

7 Como lo ha mostrado el grupo en otros escritos (Malagón *et ál.*, 2011), en el caso del pH los sujetos comúnmente suelen tener una experiencia con las sustancias que les permite distinguir *grasso modo* cualidades



nológica y, por último, el planteamiento de problemas conceptuales y organización de los planteamientos conceptuales elaborados. Tales aspectos serán posteriormente ampliados en este texto.

## Representación, formalización y fenomenología

Además de los estudios de caso analizados para fundamentar la posición que se conforma en el proyecto, se retoman en primer lugar planteamientos de autores de los albores del siglo XX, como E. Mach y P. Duhem, quienes sientan las bases de la postura fenomenológica en física. Mach distingue en la actividad científica dos procesos: la adaptación de los pensamientos a los hechos, que *configura la observación*, y la adaptación de los pensamientos entre sí, que configura la teoría y que permite considerar la teoría –como lo asegura en la actualidad Marco Panza– como un objeto matemático. Pero Mach afirma a la vez que “la observación y la teoría no se separan en forma neta, pues casi siempre la observación ya está influida por la teoría y si ella tiene una importancia suficiente, a su vez ejerce una acción sobre la teoría” (tomado de Romero, A., 2011).

Igualmente se recurre a pensadores contemporáneos como David Gooding e Ian Hacking, quienes han hecho de la actividad experimental su objeto de reflexión e indagación y han generado, junto a otros investigadores, un viraje en la manera actual de concebir la ciencia y la experimentación.

David Gooding (1990), por ejemplo, retomando las categorías elaboradas por Hacking, *representar e intervenir*, plantea que si bien al intervenir la naturaleza se generan nuevas posibilidades de observación, estas permanecen como tales o como experiencias privadas hasta que no logren ser comunicadas a otros, de tal manera que sea compartida la experiencia de los resultados de estas intervenciones, generando así testigos de la

---

inicialmente opuestas, como son la acidez y basicidad (indicadores cambian de coloración según se pongan en contacto con una sustancia ácida o con una básica, en tanto la mayoría de los metales se descomponen por acción de los ácidos). A partir de esta experiencia primaria y su organización, que permite hablar de grados de acidez y basicidad, al ampliar los efectos relacionados con dichas cualidades vinculándolas con otros efectos mediante el análisis del comportamiento eléctrico correspondiente de las sustancias (conductividad eléctrica de las mismas) es posible llegar a construir una magnitud, como el pH, que exprese o hable de dichas cualidades. En esta ruta, el experimento juega un papel muy importante para construir las relaciones, las escalas de ordenación y el diseño de instrumentos. Se puede igualmente relacionar nuevas experiencias con la inicial y avanzar en el proceso de transformación y reconstitución de la magnitud vinculada al nuevo campo fenoménico (o campo fenoménico extendido).

existencia del fenómeno. Es en este contexto de la comunicación y de la estabilización del fenómeno<sup>8</sup> que la representación adquiere una gran relevancia. Cuando un fenómeno es nuevo es necesario saber qué hay que ver y, por tanto, aprender a verlo. Así como la representación es necesaria para consolidar la actividad experimental (hacer posible el reconocimiento de sus resultados), la observación y la actividad experimental es ciega o imposible sin la representación.

De otra parte, si bien representar hace parte de la actividad intelectual, vemos importante diferenciarla de la teorización propiamente dicha, así como especificar qué significado le podemos asignar al término representar. Con ello no se pretende establecer rupturas en el proceso de formalización ni diferenciaciones radicales, sino establecer unas fases que puedan ser de utilidad pedagógica.

Con el término *representación* nos referimos a los modos lingüísticos de diferentes tipos verbales y no verbales (palabras, signos, dibujos, fórmulas algebraicas, procedimientos, etc.) con los cuales comunicamos nuestras experiencias y caracterizamos los comportamientos y fenómenos que se buscan destacar. Como afirma Gooding, es claro que los modos lingüísticos de representación influyen en los pensamientos formulados en ellos y, más aun, que no podemos pensar sin ese sistema de representación. Esto también es válido para las formas no verbales de representación. Algunas veces –afirma Gooding– “las referencias a un nuevo fenómeno están articuladas procedimentalmente antes de que pueda ser expresado en un conjunto de imágenes verbales o visuales. Estas representaciones se pueden articular como conceptos instrumentalmente útiles antes de que sean incorporados en un marco teórico, de modo que es posible suponer que dan forma a las teorías para interpretar y explicar los fenómenos que describen” (Gooding, 1990: 192).

Entendida así, podemos decir que la actividad de representar es una actividad elemental que se inscribe en la actividad más general de formalizar y que tiene diferentes formas y niveles. Retomando lo planteado en la caracterización de la formalización realizada por Ayala *et ál.* (2009), la actividad de representar puede ser la forma más primaria que corresponde a la formalización de carácter pragmático que *en términos generales se genera en las prácticas cotidianas de comunicación, es decir, se hacen distincio-*

---

8 Conferencia pronunciada por el profesor Germán Guerrero Pino con ocasión del *Encuentro de grupos de investigación en enseñanza de las ciencias (componente prácticas experimentales y usos del laboratorio)* realizado en la Universidad del Valle, 25 y 26 de noviembre de 2011.

*nes, selecciones, clasificaciones, etc. donde mirar por clases, o por variables, o por sistemas... implica siempre un proceso correspondiente de mirar imponiendo una forma, según una lógica pre-constituida, a la forma primaria que las cosas parecen tener (Arca & Guidoni, 1987: 138). En esta forma de representación está incluido el uso de lenguaje no articulado como pueden ser los dibujos y uso de otro tipo de signos.*

La actividad de representar puede corresponder también a la actividad de aplicar una estructura formal a la descripción del fenómeno, caso en el cual se reconoce una estructura formal y se construye la posibilidad de formalizar el fenómeno en términos de dicha estructura. Involucra la constitución de magnitudes y establecimiento de relaciones funcionales entre las variables requeridas en la descripción del fenómeno, relaciones que se constituyen en formas de representarlo. Ahora bien, la representación matemática del fenómeno no debe ser necesariamente analítica, puede ser geométrica y visual como es el caso del uso de las líneas de fuerza en la representación del fenómeno magnético por Faraday.

La actividad de representar puede referirse a la actividad de teorizar propiamente dicha en la que la teoría se constituye en sí misma en una representación de una clase de fenómenos, donde los principales rasgos del fenómeno que vienen a configurar la fenomenología quedan destacados y formalizados a través de las proposiciones teóricas. El ejercicio de la adecuación de las ideas entre sí alrededor del campo fenoménico trabajado se pone de manifiesto en esta forma de representar que implica una organización bajo una estructura lógica formal que permite jerarquizar dentro de una lógica deductiva las diferentes proposiciones teóricas elaboradas.

Por último, la relación de doble vía existente entre la actividad mental de representar y la experimental, de intervenir la naturaleza, que habíamos mencionado inicialmente, se puede expresar sintéticamente así: lo que los científicos hacen cuando intervienen establece la forma como representan los resultados de sus intervenciones. Estas representaciones a su vez influyen en la forma como teorizan esos resultados.

## Presentación de la obra

Para abordar los diferentes aspectos mencionados, se han organizado seis capítulos. En el primer capítulo se hace un balance de los estudios históricos y sus implicaciones para la enseñanza de las ciencias, aspecto que resulta diferente frente a otras rutas que

se han presentado en el país y que, además, son un eje importante de las formas de proceder de los autores de esta obra. Se reitera la importancia de considerar el conocimiento como proceso y actividad, para hacer énfasis en las diversas rutas en las cuales la actividad experimental juega un papel importante en la enseñanza de las ciencias.

El problema del experimento en la ciencia y sus implicaciones para la enseñanza de las ciencias es tratado en los siguientes tres capítulos, en los que se abordan cuestiones filosóficas, epistemológicas, históricas, pedagógicas y cognitivas que han sido tratadas por los tres grupos de investigación con los que hemos realizado el Seminario Interinstitucional: el grupo Física y Cultura, de la Universidad Pedagógica Nacional, el grupo ECCE, de la Facultad de Educación de Universidad de Antioquia, y el grupo Ciencia, Educación y Diversidad, del Instituto de Pedagogía de la Universidad del Valle.

Los últimos dos capítulos presentan dos experiencias de aula en las cuales se propone la organización de fenomenologías y se discute el rol que la actividad experimental y la construcción de representaciones juega en la ampliación de la experiencia de los estudiantes. Estas experiencias presentan rutas para el trabajo en el aula basadas en las discusiones hechas con el grupo de investigación y muestran interesantes aspectos sobre la relación entre los procesos de formalización, de representación y la construcción de fenomenologías en la enseñanza de las ciencias.

## Bibliografía

- Ayala, M. M. et ál. (2008). *Los procesos de formalización y el papel de la experiencia en la construcción del conocimiento sobre los fenómenos físicos*. Bogotá: Fondo Editorial Universidad Pedagógica Nacional.
- Ferreirós, J. & Ordóñez, J. (2002). Hacia una filosofía de la experimentación. *Crítica, Revista Hispanoamericana de Filosofía*, 34 (102), 47-86.
- Gooding, D. (1990). *The uses of experiment: studies in the natural sciences*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Guidoni, P. & Arca, M. (1987). *Guardare per sistemi, guardare per variabili*. Torino: Emme Edizioni.
- Hacking, I. (1983). *Representing and Intervening*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Koponen, I. T. & Mäntylä, Th. (2006). Generative role of experiments in physics and in teaching physics: a suggestion for epistemological reconstruction. *Science Education*, 15 (2006), 31-54.
- Malagón, J. F. et ál. (2011). *El experimento en el aula. Comprensión de fenomenologías y construcción de magnitudes*. Bogotá: Fondo Editorial Universidad Pedagógica Nacional.
- Malagón, J. F. et ál. Proyecto de investigación *La actividad experimental en la enseñanza de las ciencias*. Proyecto CIUP DFI-014-07 (2007-2008), Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá.
- Malagón, J. F. et ál. Proyecto de investigación *La actividad experimental para la comprensión de fenómenos en la enseñanza de las ciencias*. Proyecto CIUP DFI-144-09 (2009-2010), Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá.
- Romero, A. (2011). *De la experimentación y su rol en la construcción del conocimiento. Elementos para propuestas didácticas*. Teleconferencia, U. Antioquia-Univalle-UPN. Sept. 2011.



# Capítulo I.

## La historia en la enseñanza de las ciencias: **una relación polémica**

María Mercedes Ayala Manrique<sup>9</sup>

José Francisco Malagón Sánchez<sup>10</sup>

Sandra Sandoval Osorio<sup>11</sup>

### Introducción

La exploración de la relación experimento y formalización, tema central de esta primera versión del *Encuentro sobre estudios históricos para la enseñanza de las ciencias*, nos remite –en este contexto– a preguntarnos por la manera como se puede recurrir a la historia de las ciencias para arrojar luces a esta problemática, de modo que aporte elementos que permitan a los maestros guiar los complejos procesos de conocimiento que se dan en el aula cuando se enseña ciencias, o también por el tipo de indagación histórico-filosófica que puede adelantarse con este propósito.

Como bien lo plantea Juan Carlos Orozco (2005), en *Atajos y desviaciones: Los estudios histórico-críticos y enseñanza de las ciencias*, la necesidad de acudir a los estudios históricos-epistemológicos suele –hoy en día– ser destacada por la comunidad de maestros de ciencias e investigadores en el campo de la educación en ciencias. No obstante los múltiples trabajos desarrollados al respecto, la relación existente entre historia y enseñanza de las ciencias sigue siendo problemática.

---

9 Grupo Física y Cultura, Universidad Pedagógica Nacional. ayalam49@gmail.com

10 Grupo Física y Cultura, Universidad Pedagógica Nacional. jmalagon@pedagogica.edu.co

11 Grupo Física y Cultura, Universidad Pedagógica Nacional. ssandoval@pedagogica.edu.co

Pero, ¿a qué se debe esta problemática? ¿Cuáles son sus raíces? ¿Qué diagnóstico podemos hacer de la misma? Para iniciar esta discusión es conveniente tener presente algunos de los usos más habituales de la historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias, por lo menos los usos que más se destacan.

En términos generales, la historia de las ciencias se considera como una gran fuente de recursos a la que puede acudir el maestro desde diferentes planos. Con el primero, que se puede designar como el plano de la motivación, el maestro puede ubicar espacial y temporalmente muchos de los gestores, descubrimientos y errores que se han dado a lo largo del devenir de las ciencias con el fin de mostrar la dinámica del quehacer científico; este es quizás uno de los usos más comunes. Se encuentra particularmente en los textos de enseñanza; es así como frecuentemente se ven en ellos pequeñas secciones o apartes con versiones cronológicas y anecdóticas sobre los creadores y desarrollo de una cierta temática científica. Un segundo plano, menos habitual, es el que rescata los argumentos que estuvieron a la base de algunos de los diferentes planteamientos científicos que se han gestado a lo largo de la historia, tratando con ello de reivindicar el carácter racional de las ciencias. El tercer plano que se destaca es el referido al diseño de estrategias metodológicas, que se alcanza al establecer un paralelo entre la dinámica del conocimiento científico y la dinámica del conocimiento individual; en este plano se inscriben muchos trabajos de investigación en didáctica de las ciencias de las últimas décadas. Por último, se tiene un plano que se ha venido desarrollando a través de los estudios sociales y culturales de la ciencia, los cuales han permitido circular nuevas imágenes de qué es la actividad científica. Este plano busca transformar las imágenes que tienen los individuos acerca de la ciencia y del quehacer científico, en particular los estudiantes y maestros, y de esta manera, incidir en la transformación de las prácticas pedagógicas en el aula.

Aunque por más de tres décadas se han venido desarrollando estos diferentes usos de la historia de las ciencias, proliferan trabajos en estos sentidos y se ve un interés creciente por establecer un vínculo más estrecho entre la historia, la filosofía y la enseñanza de las ciencias –interés manifiesto en un número cada vez mayor de eventos y publicaciones en este campo–, no por ello deja de ser problemática esta relación entre la historia y la enseñanza de las ciencias.

Al respecto resultan ilustrativas las observaciones de los profesores Juan Carlos Orozco y Carlos Soto. Orozco (2005), en ese entonces, señalaba cómo a pesar de todos los



trabajos realizados, se ve que en la práctica la esfera de lo cronológico y de lo anecdótico sigue imponiéndose en esa relación historia-enseñanza y afirmaba: “En nuestro medio no se lleva a cabo un debate de fondo sobre la base de discusiones alrededor de la función pedagógica de los estudios histórico epistemológicos y la valoración de propuestas de aula que desarrollen este enfoque”.

Carlos Soto (2012), siete años después de las investigaciones de Orozco, por su parte, considera que de alguna manera los trabajos se han quedado en un nivel demasiado general que no permite realizar una acción particular cuando se intentan transferir a la enseñanza de las disciplinas particulares. Específicamente afirma: “A pesar de que se ha progresado en el entendimiento y comprensión de la ciencia, en su unidad metodológica y epistemológica, se ha asumido un enfoque global de su discurso y de su práctica que no permite abordar los problemas de conocimiento y su construcción atendiendo a las particularidades disciplinares e incluso a las particularidades de las escuelas de pensamiento”.

Entonces, a pesar de este reconocimiento tan generalizado que hay en la comunidad tanto de los maestros de ciencias como de investigadores en el campo de la enseñanza de las ciencias, no se logra la importante incidencia que se espera en la transformación de las prácticas pedagógicas en el aula.

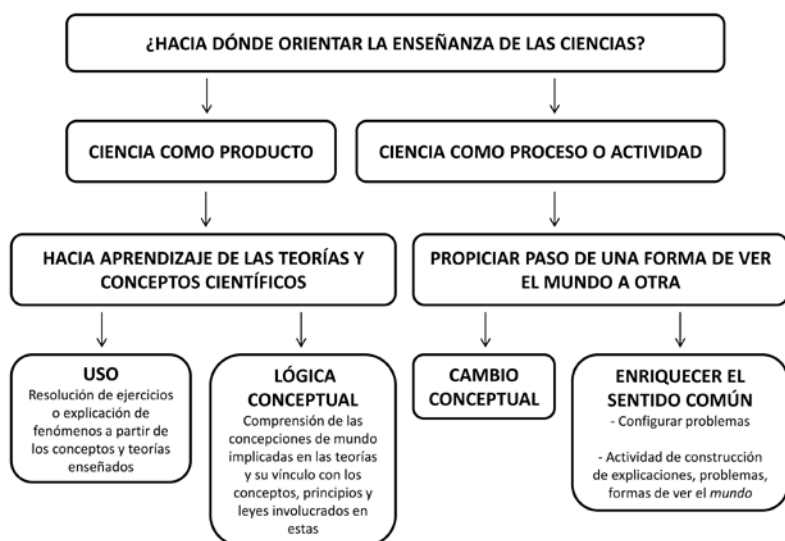
## Elementos para un diagnóstico de la problemática

Se pueden aducir diversas razones para entender el carácter polémico de la relación entre historia y enseñanza de las ciencias. De una parte, un análisis de esta relación necesariamente implica la discusión sobre lo que se entiende por ciencia, por enseñar ciencias y por la historia de las ciencias. Dado que alrededor de la comprensión de estos aspectos hay diversas posiciones, es muy difícil dar una respuesta genérica acerca de la manera como debe relacionarse la historia con la enseñanza de las ciencias. Por otro lado, hay una razón más que tiene un gran peso en la determinación de la relación historia-enseñanza de las ciencias y es la exterioridad que usualmente se da y se promueve con el conocimiento científico y la consiguiente objetivación o cosificación que se produce de este. Tal cosificación del conocimiento científico en torno al cual el maestro centra su labor termina definiendo el carácter con que se concreta esta relación: al ser el maestro quien la pone en práctica en el aula de clases, asumir

el conocimiento como cosa hace que trabaje el conocimiento y su historia como un producto externo que le es ajeno, que a lo más debe ser entendido y aprendido para ser transmitido. Por último, la otra razón que entra en juego, y que está íntimamente ligada a la anterior, es la diferenciación que habitualmente se establece entre los que producen el conocimiento y los que lo difunden y lo usan; diferenciación que promueve aun más esa relación de exterioridad con el conocimiento ya sea historia, filosofía o la ciencia misma.

## Imágenes de ciencia y conocimiento, y orientación de la enseñanza de las ciencias

Las siguientes consideraciones, elaboradas a partir de una organización y clasificación sucinta de las variadas posiciones que se dan sobre la orientación que debe dársele a la enseñanza de las ciencias, permitirán repensar un poco las imágenes que se tiene de las ciencias y de su historia.



### Ciencia como producto

Hay, así, unas orientaciones que se adoptan cuando se tiene una imagen de ciencia como producto: la ciencia es considerada como un *corpus* organizado de conceptos, leyes, principios, teorías y procedimientos. Dicha perspectiva moviliza comúnmente la

acción pedagógica hacia la enseñanza y aprendizaje de conceptos y teorías científicas, encontrándose dos maneras plenamente diferenciadas de concretar esta intención. Una, caracterizada por una relación de uso, en la que el esfuerzo del maestro se centra en lograr que el estudiante resuelva ejercicios o explique los fenómenos a partir de los conceptos y los constructos teóricos enseñados. La segunda, surge de reconocer que el conocimiento científico está articulado a lo largo de la historia a través de planteamientos en torno al mundo. Esta posición implica una manera diferente de mirar el problema del conocimiento en el aula: surge el énfasis en lo que se podría denominar la lógica *conceptual*, donde el interés se centra en comprender cuáles son las concepciones y las formas de abordar el mundo que subyacen a las diferentes teorías estudiadas. Hay, además, la pretensión de mostrar cómo los diferentes conceptos, principios y leyes están todos relacionados y diferenciados a la luz de una concepción dada de mundo; se posibilita así ver por qué aparece un determinado principio y por qué se introducen ciertos conceptos para describir un fenómeno determinado, al igual que resulta posible especificar los significados particulares que estos adquieren.

Ubicado en esta perspectiva, el maestro puede recurrir a escritos de historiadores del corte de Alexander Koyré, en los que, por ejemplo, en el caso de la Física, puede observar que la ley de inercia en los términos newtonianos implica tener una cierta concepción del mundo donde los conceptos de espacio y tiempo absolutos y de materia inerte resultan ser indispensables para poderla formular y comprender. Si no se pensara en un espacio absoluto –homogéneo, isotrópico, inactivo y no afectado por los cuerpos que contiene– y en un tiempo uniforme independiente de los eventos, no sería posible pensar en el movimiento rectilíneo uniforme como el único movimiento con posibilidad de perdurar indefinidamente por cuenta propia. Puesto que si se piensa en un cuerpo en movimiento, libre de toda influencia ejercida por otros, en un espacio isotrópico, no habría razón para que el movimiento del cuerpo se desviara hacia una dirección determinada, es decir, que resultara privilegiada una dirección sobre otra; y en un espacio con todos sus lugares iguales, no habría tampoco razón para pensar en una variación de la rapidez del movimiento si el fluir del tiempo no experimenta cambio alguno. Adquiere así la ley de inercia de Newton plena significación en este marco conceptual.

Mientras que si se examina el caso galileano y su concepción de mundo, se puede entender por qué a Galileo le resulta imposible pensar una ley de la inercia al estilo newtoniano. Para Galileo el único movimiento que puede perdurar es un movimiento circular, porque el elemento básico de su concepción del mundo es que todos los

cuerpos son graves, en contraste con Newton para quien es el carácter inerte de estos lo que caracteriza su naturaleza (los cuerpos no tienen tendencias ni ofrecen resistencias, se quedan como se les dejan cuando están por su cuenta). Dada la gravedad de los cuerpos, es de esperarse que hayan centros en el universo hacia donde tienden (el centro de la Tierra para la Luna y cuerpos terrestres, el Sol para el sistema planetario, etc.) y la única manera para que el movimiento de un cuerpo perdure indefinidamente, sin modificación alguna<sup>12</sup>, consiste en no alejarse ni acercarse a su centro, es decir, el movimiento debe ser un movimiento circular; por eso, se dice que Galileo plantea un principio de inercia circular.

Con estos ejemplos se ilustra cómo historiadores y autores muestran que hay una lógica conceptual alrededor de las diferentes teorías científicas ligada a la manera de comprender el universo de sus gestores, y cómo en el aula muchos maestros pueden, además de guiarse por estos autores para hacer planteamientos de este tipo, darse cuenta por qué es necesario inscribir las diferentes proposiciones científicas o juicios sobre los fenómenos naturales que se abordan en clase en determinados contextos conceptuales para poder darles significado y sentido.

## Ciencia como proceso y actividad

La otra visión de las ciencias, muy poco difundida en el ámbito escolar y que ha producido maneras significativamente nuevas de entender la actividad pedagógica, es aquella que asume la ciencia como un proceso y como una actividad: la ciencia es concebida como algo no acabado, renovándose continuamente en contextos complejos que involucran el encuentro y debate de diversas formas de asumir la tradición científica forjada hasta el momento, y en términos generales, de diferentes maneras de entender el entorno físico y cultural, de intereses diversos, etc. Esta perspectiva plantea como un problema central en el ámbito pedagógico la manera de propiciar el paso de una forma de ver el mundo a otra. En ella es posible diferenciar dos posiciones. En la primera se inscriben una serie de vertientes constructivistas que se mueven con la preocupación de generar cambios conceptuales en los estudiantes y que, si bien se basan en la idea de que el conocimiento es un proceso, consideran que el conocimiento escolar tiene que estar completamente dirigido por la dinámica del conocimiento científico. Suponen, por ende, que todo cambio conceptual propuesto por el maestro debe estar orientado hacia aquellas etapas por las que ha transitado

---

12 Cuando se acercan al centro de gravedad se aceleran, cuando se alejan se desaceleran, cuando mantienen su distancia al centro es de esperar que su movimiento sea uniforme.

el quehacer científico. El recurso a la historia y filosofía de las ciencias se impone, y es fundamental, desde esta manera de entender la actuación del maestro de ciencias.

Los maestros que les preocupa la comprensión lograda por los estudiantes a partir de lo trabajado en clases, saben muy bien acerca de la tensión que hay que soportar por el encuentro difícil y contrariado entre el conocimiento científico y el conocimiento que ya poseen los estudiantes. Mucho se ha dicho al respecto: preconceptos, preteorías, ideas previas, errores conceptuales, etc. Lo cierto es que durante los últimos 40 años, las concepciones de los estudiantes han sido un centro de la investigación en el campo de la educación en ciencias. Uno de los aportes fundamentales de las investigaciones realizadas, es la relevancia que ha adquirido en el ámbito de la enseñanza ese bagaje de ideas, actitudes y comportamientos de los estudiantes –que son fruto de su interacción con el medio natural y socio cultural en el cual se encuentran inmersos–, con el que enfrentan el trabajo en el aula y que por lo general no se corresponde con las formas de pensamiento y de expresión, ni con los procedimientos característicos, del trabajo científico. Ahora bien, el hecho de que sea una realidad sobrediagnosticada, no quiere decir que se tenga ya una solución satisfactoria. Dada esta discrepancia, ¿cómo abordarla? Es la pregunta que queda planteada.

#### Sobre el sentido común

- Son las estructuras básicas del sentido común y sus articulaciones las que conforman una base fundamental para la construcción de sentidos y significados de las diferentes acciones, tanto de las acciones prácticas como del conocimiento con el cual nos desenvolvemos en el mundo cotidiano.
- Podemos comprender las proposiciones del conocimiento especializado porque las entendemos sobre un trasfondo permanente de lenguaje ordinario basado en creencias del mundo cotidiano, que refleja un consenso necesario para la comunicación.
- En el conocimiento científico se hace uso de estrategias ya presentes en el lenguaje y sentido común. Sistemas y variables, estados y transformación, causalidad, unidad en la diversidad (clasificación), etc.
- Mirado individualmente, el sentido común es dinámico.

## **El enriquecimiento del sentido común: un propósito para la enseñanza de las ciencias**

En este sentido, hay otra posición acerca de las ciencias y su enseñanza –en la que se inscribe la actividad pedagógica e investigativa del grupo Física y Cultura– sobre la que se hace énfasis en este escrito. Es aquella donde la preocupación fundamental es la dinamización de los procesos de conocimiento de los estudiantes, entendiéndose que no se trata de ejecutar en el aula de manera simplificada los diferentes pasos por donde ha podido circular o transitar la comunidad científica a lo largo de la historia, sino que se adopta como problema central el enriquecimiento del sentido común de los estudiantes. Generar espacios para que en el aula sea posible la ampliación y organización de la experiencia, la construcción de explicaciones y la generación de preguntas e inquietudes por parte de los estudiantes, así como el fortalecimiento de sus formas de ver el mundo, son actividades que ilustran someramente la labor del maestro de ciencias.

En pocas palabras, desde la perspectiva que se propone y enfatiza en este escrito, el centro fundamental de la acción pedagógica del maestro de ciencias ya no es el de que los estudiantes aprendan y usen adecuadamente una teoría o se muevan siguiendo las etapas de desarrollo del conocimiento científico en su devenir histórico; se trata ante todo de generar condiciones para que los estudiantes en las clases de ciencias enriquezcan su sentido común a través de la interacción con los planteamientos científicos, el mundo cultural y el mundo físico al cual tienen acceso.

### *Conocimiento científico y sentido común*

Entendiendo el sentido común como la compleja estructura que soporta la actividad cognitiva y la acción práctica en el mundo cotidiano, es necesario hacer algunas consideraciones sobre la relación conocimiento científico y sentido común. Lo cierto es que usualmente se considera que si se quiere acceder al conocimiento científico es necesario negar el sentido común o que el aprendizaje del conocimiento científico implica acceder a un tipo de conocimiento radicalmente diferente de aquel con el cual se aborda la cotidianidad. Es corriente encontrar el siguiente tipo de afirmaciones: “... creemos que el aprendizaje de la física debe ser planteado a los estudiantes de ciclos básicos de carreras científicas como la adquisición de otra manera de conocer: la manera de conocer la física clásica” (Salinas de Sandoval *et ál.*, 1996: 215).

Si bien en ningún momento se pretende negar las diferencias obvias entre el conocimiento común y el científico, máxime cuando la comparación se suele limitar a los productos del conocimiento y no hay referencia a la actividad cognitiva como tal, **se quiere hacer notar que estas diferencias no son de base o esenciales<sup>13</sup> y que la acción pedagógica, más que insistir en sus diferencias, debe centrarse en generar nexos entre ellos en el ámbito escolar.**

Justificar esta posición requiere llamar la atención sobre los siguientes aspectos. Primero, es importante tener en cuenta que el sentido común no se reduce a una red de creencias profundamente arraigadas o a la habilidad práctica, si bien se relaciona con ello (Sankey, 2010). El sentido común es algo más básico; el sentido común configura las estructuras básicas a partir de las cuales se da sentido y significado a las diferentes acciones, tanto a las acciones prácticas como al conocimiento con el cual nos desenvolvemos en el mundo cotidiano. Los principios del sentido común son principios para juzgar, para enjuiciar. Es claro que un juicio no es solo una proposición compuesta de sujeto y predicado; un juicio es, en rigor, el veredicto o sentencia que emitimos ante la ponderación de evidencias de diferentes clases. De hecho, todas las creencias son en realidad una regla para la acción. Las creencias del sentido común son creencias bien confirmadas que se justifican por su papel en la acción práctica exitosa de la vida diaria (Sankey, 2010). En fin, el sentido común hace referencia a modos válidos de percibir, entender, hablar y actuar; validados por la posibilidad que estos le confieren a los sujetos de sobrevivir en su medio.

En segundo lugar, el sentido común se construye en la acción práctica cotidiana y es en ese marco en el que, en últimas, se va a darle significado a los diferentes juicios que se pueden emitir desde los diferentes conocimientos especializados que se pueden desarrollar. Es preciso aclarar que el término *conocimiento especializado* no se refiere únicamente al conocimiento científico, se refiere a cualquier conocimiento que exige un aprendizaje particular, por ejemplo, al conocimiento que puede desarrollar un zapatero a través de su práctica con el cuero y con otros materiales en la confección y arreglo de zapatos; al de los campesinos, mediante sus prácticas en las labores agrícolas; o al del albañil en su práctica en la construcción; es decir, es un conocimiento que no es común porque no es compartido por todos los individuos de una determinada colectividad. Es pues válido preguntarse ¿qué tan común es el sentido común?

---

<sup>13</sup> Véase los planteamientos al respecto de autores como: Guidoni, P. (1987), Arcá, M. et ál. (1990), Ayala, M.M. et ál.(2004), Ogborn, J.(2009), Sankey,H.(2010).

Se podría decir que el conocimiento común es elaborado en la simple convivencia e interacción con el entorno físico y cultural, y en esa interacción se genera la posible unidad a la que parece aludir así como su diversidad. De todas maneras, el sentido común es lo que termina dándole base a todos esos conocimientos especializados, aún en el caso de conocimientos sofisticados, tan sofisticado y elitista como puede ser el conocimiento científico. Como dice H. Sankey: “La ciencia conserva y explica la experiencia del mundo dada por el sentido común. Aunque la ciencia puede llevar a la superación de creencias profundamente arraigadas, el sentido común refleja un nivel de experiencia más básico y duradero. Las creencias del sentido común son creencias bien confirmadas que se justifican por su papel en la acción práctica exitosa de la vida diaria” (Sankey, 2010: 41). Más aún, se pueden comprender las proposiciones del conocimiento especializado, en particular del científico, porque las entendemos sobre un trasfondo permanente de lenguaje ordinario basados en creencias del mundo cotidiano que refleja un consenso necesario para la comunicación. También, en términos de Paolo Guidoni, son las estructuras internas de la cultura común y sus articulaciones las que conforman una base fundamental para el desarrollo, significado y coordinación de todas las subculturas particulares, entre ellas las científicas (Guidoni, 1985).

Entonces, para que el conocimiento científico pueda tener algún sentido, en la enseñanza debe establecerse algún nexo entre este y el sentido común. Si no establecemos vínculos con el sentido común, es imposible tener una comprensión de los enunciados científicos; por lo tanto, termina siendo totalmente contraproducente el énfasis, que habitualmente se hace al enseñar ciencias, en la ruptura radical con el sentido común y, por el contrario, se impone como necesario buscar el nexo con él.

Es importante señalar también, retomando nuevamente a P. Guidoni, que en el conocimiento científico se hace uso, aunque de manera más formal, de estrategias que están presentes en el lenguaje y conocimiento común. Por ejemplo, todas las estrategias de sistemas y variables, de estado-transformación, de causalidad, de unidad en la diversidad, etc., que consideramos propias del conocimiento científico, son también estrategias que todo individuo pone en juego para organizar el mundo a partir de su experiencia cotidiana<sup>14</sup>. Se puede decir, por ejemplo que la estrategia estado-transformación, básica en el conocimiento científico, está también en la base de ideas comunes como la identidad del yo, o en el crecimiento de una planta o de cualquier ser vivo. Está presente también en el conocimiento común la posibilidad

---

14 Así en el lenguaje común se razona sobre sistemas y variables a través de nombres y atributos; o se razona sobre estados y transformaciones donde los sustantivos seleccionan configuraciones estables y los verbos cambios; o se identifican clases a través de nombres y relaciones de orden por medio de los adverbios “más o menos”.



de encontrar la unidad en la diversidad, la cual es una estrategia cognitiva característica también del conocimiento científico: la clasificación, entre otras actividades cognitivas, es una actividad desplegada en la conformación del conocimiento común.

Por último, es relevante hacer énfasis en la importancia que tiene desde el punto de vista pedagógico considerar que el sentido común, mirado colectiva e individualmente, es dinámico. Esta consideración es lo que permite plantear como propósito central de la enseñanza de las ciencias enriquecer el sentido común de los estudiantes a través del intercambio entre ellos y con el maestro, y mediante la interacción con los planteamientos científicos y en general con el mundo cultural y el mundo físico al cual tienen acceso. Ello implica, como lo hemos visto, generar en el aula un espacio propicio para que los participantes de la clase de ciencias, maestro y estudiantes, desarrollen sus modos de pensar, de hablar, de actuar sobre su entorno físico y cultural, y sobre todo la capacidad de relacionar todos estos aspectos.

#### *¿Cómo establecer un nexo entre el conocimiento científico y el sentido común?*

Entonces, el problema planteado es qué significa y cómo establecer un nexo entre el conocimiento científico y el sentido común. Establecer ese nexo significa ante todo elaborar un contexto de significación desde el cual los diversos planteamientos científicos puedan adquirir sentido para el maestro y los estudiantes. Es, pues, el gran reto para el maestro encontrar la forma de elaborar ese contexto de significación en el aula, de tal manera que pueda constituirse en un cierto marco heurístico desde el cual el estudiante pueda tener un espacio desde donde pueda pensar sobre los fenómenos, explorar y plantear preguntas sobre el campo fenoménico abordado. Entonces, desde esta perspectiva, los dos grandes retos que tiene el maestro son los siguientes: uno, generar ese contexto de significación para que los estudiantes puedan encontrarle algún sentido a planteamientos que circulan en los diferentes textos a través de los cuales se difunde el conocimiento científico; y, dos, ante todo y a la vez, generar un espacio donde los estudiantes puedan pensar el mundo físico o, específicamente, puedan pensar sobre los fenómenos físicos y articularlos a esos planteamientos de modo que puedan desarrollar y enriquecer su capacidad de actuar y reflexionar sobre su entorno.

Para construir ese contexto de significación, ese espacio especial para poder pensar, hablar y actuar sobre el mundo que los rodea, es necesario que el maestro tenga en cuenta que en torno a los fenómenos analizados hay una diversidad de concepciones y

de formas de abordar el mundo; y que, por ende, hay diferentes problemas centrales y sistemas conceptuales articulados a su posible análisis. También debe tener en cuenta que hay toda una fenomenología que es compatible con el planteamiento teórico que se pretende abordar en el aula (Ayala *et ál.*, 2008).

Por otro lado, sería muy útil para el maestro darse cuenta que hay esquemas organizativos y explicativos que se usan en múltiples explicaciones al abordar los fenómenos y que estos permiten en muchos casos establecer analogías en los tratamientos de los diferentes fenómenos. Por ejemplo, permite ver cómo en el electromagnetismo, enmarcado en la perspectiva de campos, se utilizan formas análogas a las que se utilizan en mecánica de medios continuos; o cómo en la mecánica cuántica de Dirac hay una perspectiva de estados con la cual se analizan los fenómenos cuánticos (Bautista, 2004), pero que esa perspectiva de estados también se desarrolla en la termodinámica y que la mecánica newtoniana también podría ser mirada desde dicha perspectiva (Herrmann, 2000 y 2003). En fin, hay miradas o perspectivas muy fecundas que podrían trabajarse o tenerse en cuenta en el aula. Además, hay conceptos estructurantes como el de equilibrio, que podría decirse son de amplio espectro. El concepto de equilibrio, por ejemplo, se utiliza no solo en las diferentes ramas de la física sino en diversas ciencias, la química y la biología, entre otras, con una variedad de acepciones. Alrededor de este tipo de ideas o conceptos vale la pena adelantar una indagación que permita examinar y caracterizar la manera como los científicos los han abordado a lo largo de la historia; sin duda, estos serían puntos clave para ser recontextualizados y trabajados en el aula.

También es importante tener en cuenta que los fenómenos con los cuales en muchos casos se acostumbra iniciar el trabajo en el aula no son fenómenos simples, por ejemplo, cuando se abordan los fenómenos ópticos en el aula se suele empezar con la reflexión y refracción porque se puede hacer uso de un modelo sencillo para representarlos (una pelota que rebota o se desvía al pasar de un medio a otro). Sin embargo, si se entra a mirar con mayor detenimiento, se puede concluir que los fenómenos de reflexión y de refracción están muy lejos de ser fenómenos simples; son, por el contrario, síntesis complejas de una gran experiencia acerca de todos los problemas de la visión (Tarazona & Hernández, 2004). Esto exige que el maestro sea más cuidadoso en el momento de escoger los fenómenos que va a llevar al aula para iniciar una reflexión sobre un cierto campo fenoménico.

Ahora bien, cuando se está guiado por el propósito pedagógico que fundamenta esta manera de comprender la enseñanza de las ciencias, y se hace referencia al caso de la física, resulta de suma importancia reflexionar y profundizar sobre el papel que la ex-

perencia juega en el origen de las ideas matemáticas, así como sobre la relación que se puede establecer entre la física y las matemáticas, dado el papel central que se le suele reconocer a esta disciplina en la constitución del conocimiento físico. Normalmente se asume que las matemáticas hacen parte del mundo de las ideas, mientras la física hace parte del mundo de la experiencia sensible, y se acepta que entre esos dos campos del saber hay una relación de uso “mágica” ya que no se entiende de qué manera logra establecerse una adaptación entre estos dos mundos, asumidos usualmente como radicalmente diferentes<sup>15</sup>. Más aún, y generalizando, se puede decir que la caracterización de las estrategias de formalización y matematización de los fenómenos y su vínculo con la experiencia es un campo de trabajo muy interesante y fructífero para generar un espacio de significación de los planteamientos científicos en el aula. Permite mostrar, entre otras cosas, el estrecho vínculo que hay entre el trabajo de formalización ligado a la actividad de construcción de magnitudes y el trabajo fenoménico ligado a la actividad experimental, trabajos que habitualmente se colocan en esferas diferentes y disyuntas<sup>16</sup>. Por último, se ve la importancia de privilegiar el planteamiento de prácticas experimentales vinculadas a procesos de ampliación y organización de la experiencia y el planteamiento de problemas conceptuales sobre un campo fenoménico.

En síntesis, se podría decir que la indagación sobre aspectos como los mencionados arriba y la determinación de otros que deban ser tenidos en cuenta para generar contextos de significación requeridos para establecer un nexo entre el sentido común y el conocimiento científico, se constituye en un programa central de investigación con el que se concretaría una íntima relación entre historia, filosofía y enseñanza de las ciencias.

### *El maestro como el sujeto en la elaboración del análisis histórico crítico*

Desarrollar el programa de investigación propuesto y con ello poder dar cuenta y avanzar en los diferentes aspectos anteriormente mencionados lleva a realizar lo que se ha denominado los *estudios histórico-críticos con fines pedagógicos*. Este es un trabajo que se considera debe ser adelantado, en primera instancia, por el maestro. Este

---

15 Sin embargo, quienes han hecho reflexiones sobre las matemáticas y su origen han mostrado que no existe esta supuesta separación radical entre los dos mundos. Han hecho ver que, por ejemplo, hay una base empírica en la formación del concepto de número, específicamente de los números naturales, que se constituyen en la base de constitución del esquema numérico: si viviéramos en un mundo gaseoso no habría la posibilidad de contar, de los números. Se sabe también que el cálculo se generó alrededor de la reflexión sobre el movimiento y que, posteriormente, a su vez fue utilizado como una forma de hablar del movimiento. Por su parte, el cuerpo rígido es la base de la construcción de los esquemas espaciales y de la geometría: según Einstein, la geometría euclídea, puede ser considerada como la primera teoría física constituida como tal.

16 Véase al respecto: 1) Ayala, *et ál.* (2008) y 2) Ayala, *et ál.* (2011).

planteamiento dista de otro, ampliamente difundido y acogido, que promueve, por el contrario, el uso por parte de los maestros de las narrativas históricas y reflexiones epistemológicas que historiadores y filósofos han elaborado de acuerdo a los intereses que los movilizan en sus indagaciones.

Tal postura se basa en la consideración de que es el maestro quien determina y busca solución a los problemas vinculados a la dinamización de los procesos cognitivos en el aula. Como tiene sus propias preguntas por resolver y criterios para organizar el trabajo de exploración histórica según los intereses e interrogantes que lo animan en su actuación en el aula, es claro que a él le compete, en primera instancia, realizar el análisis histórico crítico con propósitos pedagógicos; parafraseando a Einstein para este caso, son los maestros de ciencias quienes saben dónde les aprietan más los zapatos.

Mírese, por ejemplo, el caso de la experimentación en el aula. Para dar alguna respuesta significativa mediante la investigación histórica-filosófica sobre el experimento en el devenir de la ciencia que permita tener criterios para orientar la actividad experimental en el aula, es necesario preguntarse por el tipo de indagaciones que se deben desarrollar para este propósito<sup>17</sup>. Actualmente, hay muchos trabajos desarrollados sobre el problema del experimento; de hecho la filosofía de las ciencias en las últimas décadas se ha dedicado a reflexionar sobre las prácticas científicas y el trabajo experimental ha sido uno de sus centros de reflexión, pero de todas maneras el tipo de reflexión adelantado no se corresponde con las indagaciones que los maestros desarrollaríamos, porque tenemos ciertos tipos de preguntas que no son las preguntas que tienen los filósofos o historiadores. Por ejemplo, las clasificaciones que realizan los filósofos de la ciencia responden a sus preocupaciones por caracterizar lo que es el conocimiento científico y, últimamente, la práctica científica. En muchos casos, tal caracterización no da respuesta a los intereses que nos animan como maestros.

Esta propuesta es, pues, una invitación a todos los maestros de ciencias a hacer este tipo de trabajo, a involucrarse en los análisis de los diferentes textos originales<sup>18</sup> y textos históricos y filosóficos buscando respuestas a las preguntas que tienen como maestros a partir de su trabajo en el aula de clase. Este tipo de análisis, le permitirá al maestro elaborar una imagen de los fenómenos relacionados con los planteamientos

---

<sup>17</sup> Véase al respecto: Malagón *et ál.* (2011), cáp. I.

<sup>18</sup> Por textos originales entendemos los escritos, las obras y los tratados de los pensadores que han gestado el conocimiento que reconocemos como científico a lo largo de la historia.

científicos que le interesa abordar en el aula y darle una significación a los mismos, le permitirá también valorar los aportes de los autores estudiados y, por último, le posibilitará generar estrategias didácticas adecuadas para abordar en el aula el fenómeno en cuestión.

De una manera muy genérica se puede decir que el análisis histórico-crítico con fines pedagógicos le puede aportar a los maestros formas de ver el mundo, esquemas de organización de la experiencia y criterios para ampliar la experiencia de los estudiantes, razones para privilegiar ciertas concepciones, elementos que les permitan reconsiderar fenómenos o configurar situaciones para dinamizar la actividad cognitiva de los estudiantes, razones para privilegiar y seleccionar cierto tipo de fenómenos para abordar en el aula y, además, elementos sobre los procesos de formalización, matematización y construcción de magnitudes y formas de medida que les permita orientar su trabajo pedagógico. Asimismo, el análisis histórico-crítico con fines pedagógicos permitirá a los maestros repensar su forma de comprender la actividad científica y transformar su imagen de ciencia.

Con estas consideraciones no se quiere en ningún momento desvalorar el trabajo de historiadores y filósofos ni los recursos que los mismos ofrecen; se pretende hacer énfasis en el papel activo que deben tener los maestros en la selección, resignificación y valoración de sus aportes.

Así, y para concluir, se puede afirmar que la superación de la relación de exterioridad frente al conocimiento científico, histórico y filosófico, de la relación de mero consumo del conocimiento por parte del maestro, y de la separación entre los productores del conocimiento y los consumidores y difusores del mismo –es decir, la participación activa del maestro en las dinámicas del conocimiento– es condición para superar las dificultades muchas veces señaladas de la relación historia-filosofía y enseñanza de las ciencias y para consolidar en la práctica una relación más íntima y fuerte entre estos campos del conocimiento.

## Bibliografía

- Ayala M.M., Malagón J.F. y Guerrero G.(2004) La enseñanza de las ciencias desde una perspectiva cultural. *Revista Física y Cultura. Cuadernos de Historia y Enseñanza de las Ciencias*, N°7, 77-92
- Ayala, M. M. et ál. (2008). *Los procesos de formalización y el papel de la experiencia en la construcción del conocimiento sobre los fenómenos físicos*. Bogotá: Fondo Editorial Universidad Pedagógica Nacional.
- Ayala, M. M., Malagón, J. F. & Sandoval, S. (2011). Magnitudes, medición y fenomenologías. *Revista de Enseñanza de la Física*, 24 (1), 43-54.
- Arcá, M., Guidoni, P. y Mazzoli, P. (1990) *Enseñar Ciencias*. Ediciones Paidós, Buenos Aires, Parte3 cap.1.
- Bautista, G. (2004). *Una recontextualización para la enseñanza de la mecánica cuántica*. Ponencia VI Congreso Latinoamericano de Historia de las Ciencias y de la Tecnología, Buenos Aires, 2004.
- Guidoni, P. (1985). On Natural thinking. *European Journal of Science Education*, 7 (2),133-140.
- Hernández, M. & Tarazona, L. (2004). *La explicación como dinámica de la enseñanza de la física. El ver y la luz: su problemática y relación con la experiencia*. Trabajo de grado, Licenciatura en Física, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá.
- Hermann, F. (2000). The Karlsruhe Physics Course. *European Journal of Physics* 21, 49-58.
- Hermann, F. (2003). The KPK-A Physics course based on analogies. *VIII Conferencia Interamericana sobre Educación en Física*, La Habana, julio de 2003.
- Malagón, J. F. et ál. (2011). *El experimento en el aula. Comprensión de fenomenologías y construcción de magnitudes*. Bogotá: Fondo Editorial Universidad Pedagógica Nacional.
- Orozco, J. C. (2005). Atajos y Desviaciones. Los estudios histórico críticos y Enseñanza de las Ciencias. *Revista Tecné, Episteme y Didaxis*, número extraordinario, 70.
- Ogborn, J. (2009). *Science and common sense*. In E. Sassi & M. Vicentini (Eds), *Physics Education: Recent developments in the interaction between research and teaching* (section A1). ICPE, <http://web.phys.ksu.edu/icpe/Publications/index.html>
- Salinas de Sandoval, J., Cudmani, L.C. de & Pesa de Danón M. (1996). Modos espontáneos de razonar: Un análisis de su incidencia sobre el aprendizaje del conocimiento físico a nivel universitario básico. *Revista Enseñanza de las ciencias*, 14 (2), 209-220.

Sankey, H. (2010). Ciencia, sentido común y realidad. *Discusiones Filosóficas*, 11 (16), 41-58.

Soto, C. (2012). *Nexos entre historia, epistemología, pedagogía y ciencia en el contexto de la didáctica de las ciencias contemporáneas*. Ponencia en XI Encuentro de enseñanza de las ciencias y las matemáticas. Interdisciplinariedad en la didáctica de las ciencias y las matemáticas, Medellín.





# Capítulo 2.

## La experimentación como potenciadora de reflexiones sobre la naturaleza de las ciencias<sup>19,20</sup>

Ángel Enrique Romero Chacón<sup>21</sup>

### **Introducción. Sobre la inclusión de reflexiones sobre la *naturaleza de las ciencias* en la educación en ciencias**

Desde hace varias décadas se viene resaltando la importancia y necesidad de la inclusión de reflexiones sobre la Historia, la Filosofía y la Sociología de las ciencias en el currículo de la educación en ciencias y, en particular, en los programas de formación de profesores de ciencias. Esta inclusión, de hecho, se ha asumido desde la década de los noventa como uno de los objetivos de la educación en ciencias (Matthews, 1994; Hodson, 2003).

---

19 Este texto hace parte de los desarrollos del proyecto de investigación *La Argumentación en las clases de ciencias y su contribución a la construcción de ciudadanía* (2011, Colciencias, Cod. 111552128678), financiado con recursos de El Patrimonio Autónomo Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación, Francisco José de Caldas.

20 Conferencia presentada en el 1<sup>er</sup> Encuentro de Estudios Históricos para la Enseñanza de las Ciencias y 4<sup>o</sup> Encuentro Nacional de Enseñanza de la Mecánica, 30 de mayo a 1 de junio de 2012. Bogotá, Universidad Pedagógica Nacional.

21 Grupo de Estudios Culturales sobre las Ciencias y su Enseñanza –ECCE– Facultad de Educación, Universidad de Antioquia. aeromero@ayura.udea.edu.co

En el marco de estas reflexiones se ha empezado a consolidar, en la comunidad de educadores de ciencias, el término de *naturaleza de las ciencias* (NdC). De acuerdo con Acevedo-Díaz (2008), si bien este término es polisémico, con él se hace alusión a un metaconocimiento sobre la ciencia, surgido de reflexiones interdisciplinarias realizadas desde la filosofía, la historia y la sociología de la ciencia, que en un sentido amplio aborda cuestiones relacionadas con qué es la ciencia, cómo construye, valida y difunde el conocimiento que produce, cómo se relaciona con la sociedad, los valores implicados en esta actividad, las relaciones de la sociedad con el sistema tecno-científico y los aportes de este a la cultura.

Según Driver *et ál.* (1996) reflexionar sobre la NdC tiene beneficios que se precisan en los siguientes términos:

*Utilitarista.* La comprensión de la naturaleza de la ciencia es un requisito para tener cierta idea de la ciencia y manejar objetos y procesos tecnológicos de la vida cotidiana.

*Democrática.* La comprensión de la naturaleza de la ciencia hace falta para analizar y tomar decisiones bien informadas en cuestiones tecno-científicas con interés social.

*Cultural.* La comprensión de la naturaleza de la ciencia es necesaria para preciar el valor de la ciencia como un elemento importante de la cultura contemporánea.

*Axiológica.* La comprensión de la naturaleza de la ciencia ayuda a entender mejor las normas y valores de la comunidad científica que contiene compromisos éticos con un valor general para la sociedad.

*Docente.* La comprensión de la naturaleza de la ciencia facilita el aprendizaje de los contenidos de las materias científicas y el consiguiente cambio conceptual (Driver *et ál.*, 1996: 134).

Pese a los acuerdos sobre la importancia y necesidad de esta inclusión de las reflexiones sobre la NdC en la educación en ciencias, se han identificado dificultades y obstáculos en cómo implementarla efectivamente. Dentro de estos obstáculos se destacan, en particular, la propia significación de la NdC como contenido multidisciplinar, dialéctico, complejo y cambiante, y la carencia de formación del profesorado de ciencias

para afrontar esta innovación, dado que los conocimientos de esta área no suelen hacer parte de su formación (Hottecke & Silva, 2010).

Respecto al primero de estos aspectos, para algunos investigadores del campo de la educación en ciencias, el término NdC se refiere de manera especial a aspectos de epistemología de la ciencia y se dirige sobre todo a los valores y supuestos inherentes al conocimiento científico (Osborne *et ál.*, 2003; Osborne & Ratcliffe, 2004). Para otros autores, en cambio, el concepto de NdC abarca una mayor diversidad de aspectos y cuestionamientos dentro de los que se encuentran: qué es la ciencia, su funcionamiento interno y externo, cómo construye y desarrolla el conocimiento que produce, los métodos que emplea para validar y difundir este conocimiento, los valores implicados en las actividades científicas, las características de la comunidad científica, los vínculos con la tecnología y las relaciones de la sociedad con el sistema tecnocientífico (Acevedo-Díaz, 2008; Acevedo-Díaz *et ál.*, 2007). En este orden de consideraciones, el principal debate en torno a este consenso se centra hoy en si el significado del término NdC debe limitarse a la inclusión de la epistemología de la ciencia en la educación científica o sus contenidos deben ampliarse con aspectos esenciales de la sociología de la ciencia interna y externa (Acevedo *et ál.*, 2007).

Respecto al segundo aspecto, si bien hay muchos currículos a nivel de formación de profesores en ciencias que incluyen en sus planes de estudio temáticas y reflexiones sobre la historia, la filosofía y la epistemología de las ciencias, no hay un consenso relativamente establecido de cuál es la perspectiva de la NdC más adecuada para la formación de profesores o para incursionar en el currículo de ciencias. Se sabe, en este sentido no obstante, que cualquier perspectiva sobre la NdC no es adecuada o pertinente para el propósito de 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.

Siguiendo a Acevedo *et ál.* (2007), lo cierto es que después de aproximadamente cinco décadas de investigación en relación con la NdC, puede afirmarse que:

- Los estudiantes y profesores no tienen, en general, creencias adecuadas sobre la naturaleza de la ciencia.
- Las creencias del profesorado acerca de la naturaleza de la ciencia no se trasladan necesariamente de manera automática a la práctica docente, sino que este proceso es muy complejo.

- La naturaleza de la ciencia puede aprenderse mejor mediante una enseñanza explícita y reflexiva en diversos contextos de aprendizaje, es decir, puede resultar más efectivo su aprendizaje mediante actividades basadas en procedimientos de la ciencia o en hacer ciencia en la escuela.

Al asumir que la educación en ciencias debe aportar en forma decidida a la apropiación crítica del conocimiento científico y a la generación de condiciones y mecanismos que promuevan la formación de nuevas actitudes hacia la ciencia y hacia el conocimiento científico (Tamayo, 2009), es pertinente preguntarse por cuáles son los aportes de la educación en ciencias a las reflexiones sobre la NdC.

Es común afirmar que la enseñanza de las ciencias ha estado dominada por lo que ha sido denominado *retórica de las conclusiones* o *ciencia definitiva* (Duschl, 1995), perspectiva desde la cual se enseñan los productos del conocimiento (hechos, hipótesis, conceptos, teorías), sin prestar suficiente atención a las formas en las cuales este conocimiento se ha generado. De esta manera, las razones que obligan a cambiar teorías o modelos, a modificar métodos y reestructurar objetivos, han sido eliminadas del curso del aula (Tamayo, 2009).

Por otra parte, desde hace varios años, diversos investigadores de la didáctica de las ciencias vienen reclamando la responsabilidad de la educación en ciencias en cuanto a la asunción de una formación sociopolítica que permita a los ciudadanos actuar de manera informada y responsable, es decir, resaltan la necesidad de una formación para la acción y la crítica (Hodson, 2003). Asumir esta demanda implica reconocer el carácter sociocultural de la actividad científica y, consecuentemente, develar las relaciones que dicha actividad tiene con intereses políticos y económicos, así como con asuntos éticos y valores sociales. La educación en ciencias está llamada a atender, en este sentido, cuestiones inherentes a tres ámbitos o dimensiones complementarias: enseñar ciencias, enseñar sobre las ciencias y enseñar a hacer ciencias (Hodson, 2003).

Pero no se trata de llevar al aula de ciencias las polémicas centrales de la filosofía de las ciencias. Más que ello, de lo que se trata es de considerar el aula de ciencias como un espacio en el que es posible acercar a los estudiantes a lo que es la ciencia y el trabajo científico, un espacio en el que se hace un tipo de ciencia: la ciencia escolar. Se precisa, entonces, asumir una perspectiva sobre la NdC que permita visibilizar la pluralidad y el cambio constante en las preguntas, las explicaciones, los procedimientos y los cánones de científicidad, al tiempo que posibilite develar la incertidumbre y el carácter inacabado del conocimiento.

## ¿Qué clase de experimentación en la educación en ciencias?

En la medida que se constituye en una problemática y un espacio particularmente interesante y fructífero para adelantar e implementar reflexiones en torno a la NdC, la experimentación en la clase de ciencias adquiere especial relevancia.

Teniendo en cuenta que el modo de significar la relación teorización-experimentación y de implementarla en la clase de ciencias es subsidiario de un modo particular de asumir la naturaleza de la actividad científica, surgen cuestionamientos como: ¿Qué manera de asumir la relación teorización-experimentación es pertinente para adelantar reflexiones sobre aspectos de la NdC en la clase de ciencias? ¿Cómo la experimentación en la clase de ciencias contribuye a formar una cultura crítica y propositiva respecto a aspectos propios de la NdC?

A pesar que existen varias visiones o perspectivas del conocimiento científico y su relación con la actividad experimental, muy pocas veces han sido objeto de análisis y reflexión estas perspectivas y las implicaciones que puedan llegar a tener en la enseñanza de las ciencias. En este sentido, para tener una visión clara de lo que significa e implica una reflexión sobre la actividad experimental en la enseñanza de las ciencias, es necesario caracterizar la forma usual de considerar y poner en práctica esta actividad en las propuestas didácticas.

En términos generales, y de acuerdo con Segura (1993), los propósitos de las actividades didácticas centradas en la experimentación pueden ser caracterizadas como obedeciendo a dos tipos de consideraciones, no necesariamente contrapuestas. Uno, de énfasis disciplinar, fundamentado en el supuesto que es la instancia empírica la que permite demostrar de forma *incontrovertible y limpia* la validez de los enunciados teóricos. Y otro, de énfasis pedagógico, a través de la cual se parte de las concepciones alternativas (preconceptos) que tienen los estudiantes sobre determinado fenómeno y se pretende constatar, a partir de la contrastación empírica, lo equivocados que estaban. Mientras que en el primero se asume que los enunciados teóricos o bien se demuestran o bien se obtienen a partir de la práctica, con el segundo se busca “sorprender” el sentido común de los estudiantes, quedando tal sorpresa en la mera motivación para la clase.

A pesar de las diferencias que pudieran tener la intención e implementación de estas dos maneras de asumir la actividad experimental en la clase, se pueden identificar algunos elementos comunes. En primera instancia, en ninguna de ellas existe una apropiación por parte de los estudiantes de la temática objeto de estudio en la clase. Esta situación convierte al profesor en el centro de la clase y hace de ella un monólogo en tanto que es el profesor quien plantea los problemas y a la vez quien los resuelve. Adicionalmente, ambas se fundamentan en la ilusión de que los datos experimentales –asumidos como los resultados de las medidas– son independientes del sujeto; estos datos son considerados como absolutos y esconden, de alguna manera, las leyes y conceptos físicos. Finalmente, ambas se basan en la ilusión de que es posible trazar un camino lineal entre la actividad empírica y la teorización.

Además, algunas investigaciones han puesto de manifiesto que a pesar de los numerosos estudios sobre la importancia de la experimentación en la enseñanza de las ciencias, y principalmente en el caso de la enseñanza de la física, aún no se han logrado superar dificultades importantes en este aspecto. Se ha encontrado, por ejemplo, que el trabajo práctico tiene poco impacto en la comprensión del estudiante (Watson, J.R., 1994), que es difícil constatar su utilidad hacia la meta de aprender conceptos científicos (Hodson 1993 y 1996), y que las ventajas del trabajo de laboratorio sobre la comprensión del carácter de los conocimientos de física son cuestionables (Millar, 1989).

Otras investigaciones que analizan el uso de las actividades prácticas y del trabajo de laboratorio en la enseñanza y el aprendizaje de la física resaltan aspectos como: la existencia de un claro rechazo por parte de los estudiantes a las guías tipo “receta de cocina” utilizadas en la enseñanza tradicional, reclamando la necesidad de una reflexión y participación activa de los estudiantes (Hodson, 1994; Gil *et ál.*, 1994); la importancia de establecer una relación íntima entre las clases teóricas y las prácticas, entre los contenidos conceptuales y los procedimentales (Hodson, 1994; Gil & Valdés, 1995, 1996); la necesidad de que los estudiantes “simulen” las mejores características de la actividad científica (Gil & Valdés, 1995 y 1996) y el requerimiento del desarrollo de materiales didácticos y modelos experimentales más eficientes (Duit, R., & Confrey, J. 1996).

Lo cierto es que a pesar de que en la comunidad de profesores de ciencias se asume un consenso respecto al importante rol desempeñado por la experimentación en el proceso de enseñanza-aprendizaje, dicho rol apenas comienza a ser objeto de investigación explícita. De acuerdo con recientes estudios, usualmente los trabajos

sobre la actividad experimental se centran en el desarrollo de técnicas y procedimientos para una mayor eficiencia en la realización de experimentos y, en el mejor de los casos, en la búsqueda de estrategias didácticas para facilitar su enseñanza. La actividad experimental en el aula se asume, en este sentido, bien como un simple recurso didáctico, subsidiario de la enseñanza pero en todo caso como contingente a la construcción de explicaciones a los fenómenos naturales y a las correspondientes estrategias epistemológicas utilizadas por quienes realizan tales explicaciones, o bien como respondiendo a unos protocolos altamente estandarizados que aseguran la comprobación o refutación de las teorías científicas (Koponen & Mäntylä, 2006; Malagón *et ál.*, 2011).

Estos estudios resaltan, de la misma manera, que los profesores de ciencias consideran usualmente que la naturaleza del experimento en la clase es precisamente aquella signada por la imagen positivista de la ciencia, a saber: la aceptación de una clara distinción entre la dimensión teórica y dimensión experimental, y la admisión del experimento como el único elemento de validación o contrastación entre teorías (Koponen & Mäntylä, 2006; García, 2011). Complementariamente, han permitido constatar que en la mayoría de los currículos de ciencias (tanto a nivel básico y medio, como a nivel superior), se asume que el papel que juega la experimentación en la actividad de las comunidades científicas y el papel que juega el experimento en la enseñanza de las ciencias tienen el mismo carácter, independientemente de las concepciones de ciencia que se privilegien (Malagón *et ál.*, 2011).

Fundamentados en esta clase de estudios, los análisis conceptuales adelantados en esta investigación, y las correspondientes propuestas pedagógicas diseñadas e implementadas, permiten afirmar que para posibles pero efectivas soluciones a estas dificultades, la actividad experimental en el proceso de enseñanza y el aprendizaje de las ciencias no puede abordarse de manera independiente y desarticulada de la actividad de construcción conceptual. El vínculo entre la experimentación y los conceptos, leyes y principios –en términos de los cuales están organizadas las teorías–, no es directo ni se da exclusivamente en una sola vía o dirección. Se puede afirmar, siguiendo a Malagón (2002), que experimento y teoría se mueven uno alrededor del otro, de forma tal que este movimiento es subsidiario de una cada vez mayor refinación en la elaboración teórica y, a la vez, de un refinamiento cada vez mayor en los procedimientos y técnicas experimentales. De hecho, como ya se ha mencionado en otra parte (Romero & Rodríguez, 2006), muchos conceptos y teorías físicas han surgido

precisamente de una organización de la experiencia sensible y, complementariamente, muchos diseños y técnicas experimentales para la cuantificación de magnitudes tiene sentido solo a la luz de su significado conceptual.

Superar la perspectiva positivista de la construcción de conocimiento científico y la correspondiente sobrevaloración del carácter instrumental que adolecen las actividades experimentales en la enseñanza de las ciencias, requiere la conformación de una perspectiva de la experimentación en la clase de ciencias que incorpore reflexiones concernientes a la *naturaleza de las ciencias* fundamentadas en una mirada sociocultural sobre la construcción de conocimiento científico. Tal perspectiva 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-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 (García, 2011).

Asumir una perspectiva sobre la NdC que permita visibilizar la pluralidad y el cambio constante en las preguntas, explicaciones, procedimientos y cánones de cientificidad, al tiempo que posibilite develar la incertidumbre y el carácter inacabado del conocimiento, conlleva a centrar la atención en los procesos discursivos propios de la construcción y validación del conocimiento. Consecuentemente, conduce a resaltar y comprender el valor de razones contextuales y situacionales que posibilitan la aceptación de explicaciones, procedimientos, valores y cánones. Acudir a esas “buenas razones” es lo que llamamos –retomando a Toulmin (2003)– *razonabilidad* del conocimiento científico; concepto que permite entender el carácter cultural, plural y cambiante de las disciplinas científicas. La *razonabilidad* puede considerarse como disposición a examinar y modificar puntos de vista de cara a las *buenas razones*, es decir, a las evidencias y justificaciones (Toulmin, 2003). Alejándose del imperativo de pretender buscar y demostrar “verdades” a ultranza, la razonabilidad se configura como la posibilidad de disponerse al cambio, de aceptar en forma crítica otros puntos de vista, de justificar y debatir alternativas.



## Aportes de reflexiones sobre la naturaleza de las ciencias en relación con la experimentación

Recientes estudios históricos y filosóficos de la física han revalorado la importancia que tiene el experimento en la constitución y desarrollo de la actividad científica (Hacking, 1983; Ferreirós & Ordóñez, 2002; Iglesias, 2004). Según estos estudios, es preciso superar la clásica imagen positivista de las ciencias, a través de la cual se resalta una visión acumulativa del conocimiento científico y una clara sobrevaloración de la dimensión teórica sobre la dimensión experimental, y propender más bien por el establecimiento de una visión integral de la actividad científica que permita asumir que la experimentación y la teoría no son dimensiones separadas de la actividad científica. Tomando como base estos estudios, se presentan a continuación algunos aportes de reflexiones sobre la naturaleza de las ciencias en relación con la dialéctica teoría-experimento, que pueden contribuir a fundamentar propuestas didácticas centradas en la experimentación desde una mirada socio-cultural de la construcción del conocimiento científico.

### La perspectiva fenomenológica del mundo físico

De acuerdo con los estudios en consideración, la actividad científica puede ser considerada de manera más adecuada como una *filosofía técnica*, es decir, un híbrido de teorización (filosofía, lógica, argumentación) y experimentación (técnica, manipulación, observación) (Ferreirós & Ordóñez, 2002). Si bien en el proceso de construcción del conocimiento científico se habla usualmente del *mundo del pensamiento* y del *mundo de [lo que entendemos por] la realidad* –es decir de la teoría y el experimento–, “de lo que se trata cuando se hace ciencia es de ver el modo en que los pensamientos y la vida experimental **concuerdan** hasta darnos la idea de que efectivamente conocemos algún aspecto de la naturaleza o de la realidad” (Iglesias, 2004: 107)<sup>22</sup>.

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 conllevó 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 y reflexión de los fenómenos físicos que condujo al desarrollo de una reflexión sistemática sobre el rol que tiene la actividad experimental en los procesos de cons-

---

<sup>22</sup> Resultado del autor.

trucción de conocimiento. Preguntas como las siguientes orientaron esta reflexión: ¿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, por vía de 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 y constitutivas en los procesos de producción científica.

Esta perspectiva de la relación teorización-experimentación es expresada explícitamente en autores como E. Mach (1838-1916) y P. Duhem (1861-1916). Se enuncian a continuación algunos aportes que, en este sentido, fueron propuestos por estos pensadores.

Para Mach nuestro pensamiento no se ocupa de las cosas tal como ellas son en sí mismas, sino de sus representaciones intelectuales, es decir, de los conceptos. Así, lo que llamamos “objetos” del mundo exterior –i.e. cuerpos o hechos– no nos son conocidos más que por sus relaciones con otros objetos. Los conceptos científicos son, por su parte, representaciones y simbolizaciones en el pensamiento de ciertas clases de tales relaciones (Mach, 1948). Consecuentemente, la relatividad y provisionalidad son atributos necesarios de los objetos de nuestro conocimiento.

En el marco de estas reflexiones, Mach considera que son dos los procesos desplegados en los procesos de construcción del conocimiento científico: La adaptación de las representaciones a los hechos y la adaptación de las representaciones entre sí. La adaptación de los pensamientos a los hechos constituye para Mach lo que comúnmente se denomina la *observación*; la adaptación de los pensamientos entre sí, la *teoría*. De esta forma, la observación y la teoría son procesos complementarios y no se pueden separar en forma neta: “Siempre la observación ya está influida por la teoría y si ella tiene una importancia suficiente, ejerce a su vez una acción sobre la teoría” (Mach, 1948).

Fundamentándose en un análisis crítico sobre la mecánica racional, tanto en lo concerniente a su visión de mundo como respecto a sus magnitudes fundamentales y formas de representarlas, Duhem propone la constitución de una teoría física sobre la noción de *cualidad* y, con ello, una reflexión y extensión de la noción de medida (Rodríguez, 2008). Este reclamo de una “física de la cualidad” no se hace tributario del abandono de las matemáticas, pues el carácter cualitativo de una propiedad física no impide que los números se utilicen para *representar* sus diversos estados.

En este sentido, para Duhem, la única forma de asegurar la correspondencia o adecuación entre la teoría –i.e. la representación– y la experiencia es la identificación de un *procedimiento de medida* (Duhem, 1903).

Según este autor, son tres los dominios de conocimiento en la ciencia: el dominio de la *experiencia*, una serie de relaciones y regularidades (hechos) producidas en el mundo exterior y constatadas por los sentidos; el dominio de la *teoría*, un conjunto de magnitudes y símbolos articulados en un sistema de proposiciones y que tiene por objeto ofrecer una adecuada representación del dominio de la experiencia, y el dominio de los *instrumentos* y *procedimientos* de medida, concebido como “interfase” necesaria entre los dos anteriores que hace corresponder el símbolo (proposiciones teóricas) con la experiencia, para que el dominio de la teoría no sea un simple lenguaje desprovisto de sentido.

Estas consideraciones han sido retomadas por una perspectiva de análisis de actividad científica que se ha denominado nuevo experimentalismo o filosofía de las prácticas experimentales (Hacking, 1983; Pickering, 1989; Ferreirós & Ordóñez, 2002). De acuerdo con esta perspectiva, para tener una visión integral de la actividad científica es preciso asumir que la experimentación y la teoría (i.e. la intervención y la representación) no son dimensiones separadas, sino que se relacionan dialécticamente en los procesos de producción científica.

## **El carácter “fabricado” de los hechos e instrumentos científicos**

Desde los inicios de la década de los ochenta, ha venido consolidándose una perspectiva del estudio de la dinámica científica que tiene como intención comprender las formas como ocurre la *práctica científica* misma, a través de la identificación y observación naturalista de contextos y episodios propios de la práctica científica

(Iglesias, 2004; Quesada, 2006). Estimulada por algunos presupuestos del Programa Fuerte de la Sociología del Conocimiento Científico –SCC–, de acuerdo a esta imagen no solo la construcción del conocimiento científico tiene un carácter socio-cultural; es igualmente tributario de tal carácter lo que llamamos “realidad natural” o naturaleza.

Dos aspectos adquieren especial relevancia en este enfoque. De una parte, lo que se denomina como *lo natural* y *lo social* deben ser tratados en auténtica simetría y debe propenderse por mostrar la dialéctica existente entre ellos (Shapin & Schaffer, 1985; Latour & Woolgar, 1995). Complementariamente, los denominados “elementos materiales” de las ciencias, es decir, el conjunto de instrumentos, experimentos y técnicas diseñados y usados 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, 1983; Franklin, 1986, 2002 y 2007; Galison, 1987; Picckering, 1995; Steinle, 2002; entre otros).

Es en este sentido que Shapin (1991), a propósito de los análisis de las controversias sobre las experiencias con la máquina neumática de Boyle alrededor de la década de 1660, considera al *hecho científico* como categoría tanto epistemológica como sociológica. Esta categoría, tomada como 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, 1991: 4).

Latour, por su parte, 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 –como verdad o falsedad–, y tratarlos en pie de igualdad que cualquier otra clase de creencias existentes en la sociedad; 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* (Latour, 1991). El laboratorio se convierte, desde esta perspectiva, en un espacio privilegiado para el análisis de la construcción de conocimientos científicos, en tanto permite evidenciar cómo los científicos están constantemente abocados a convencer y ser convencidos de aceptar como *hechos* las explicaciones que construyen y, consecuentemente, que sus prácticas están inmersas en procesos discursivos de debate y argumentación (Latour & Woolgar, 1995).

## A modo de conclusión

Estas consideraciones ponen de presente la necesidad de realizar reflexiones y propuestas sobre la actividad experimental en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias que, superando las clásicas perspectivas inductiva y deductiva sobre las cuales está estructurado el currículo actual, contribuyan a la construcción de imágenes contemporáneas del desarrollo del conocimiento científico.

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: las ciencias.

Fundamentados en los aportes de reflexiones sobre la naturaleza de las ciencias desde un enfoque socio-cultural del desarrollo del conocimiento científico, dos aspectos que contribuyen al establecimiento de una nueva forma de concebir la relación entre teoría y experimento adquieren especial importancia para efectos de diseñar y adelantar propuestas didácticas centradas en la experimentación. De una parte, los análisis históricos y epistemológicos adelantados resaltan el carácter *fabricado* de los fenómenos y efectos científicos. Los fenómenos y efectos científicos, objeto de estudio de las ciencias, no se producen espontáneamente; son *entidades* que surgen como síntesis de dos interacciones, a saber: la intervención realizada por el hombre (con sus aparatos e instrumentos) y las respuestas que da aquello que llamamos “naturaleza” (Hacking, 1983). Es precisamente esta forma de plantear la relación teoría-experimento la que se configuró en la segunda mitad del siglo XIX, expresada explícitamente en autores como E. Mach y P. Duhem, y que vino a configurar lo que se denomina como la perspectiva fenomenológica del mundo.

De manera complementaria, asumir el carácter histórico y cultural (i.e. fabricado) de la realidad natural hace adquirir un papel protagónico a la reflexión y estudio sobre los instrumentos y procesos de medida. Los instrumentos y procesos de medida no solo son, desde esta perspectiva, el nexo o canal de comunicación entre nuestros pensamientos y aquello que denominados naturaleza, sino que se convierten en la

*condición de posibilidad* de los efectos científicos y fenómenos naturales. Así, al ser los instrumentos y procesos de medida los medios que determinan el modo en que los objetos de estudio de las ciencias (fenómenos y efectos científicos) se producen, la noción de *observación* y el papel atribuido al sujeto en la dialéctica teoría-experimentación tiene que modificarse.

En este orden de consideraciones, llevar a la clase de ciencias la relación entre la experimentación y los procesos discursivos y argumentativos visibiliza reflexiones en torno al carácter sociocultural de la construcción del conocimiento científico, en la medida en que, además de posibilitar a los estudiantes participar de 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 *et ál.*, 2011). 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.

## Bibliografía

- 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.
- Acevedo-Díaz, J. A., Vázquez, A., Manassero, M. A & Acevedo, R. P. (2007). Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: aspectos epistemológicos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 4 (2), 202-225.
- Driver, R., Leach, J., Millar, R., & Scott, P. (1996). *Young People's Images of Science*. Buckingham, UK: Open University Press.
- Duit, R., & Confrey, J. (1996). Reorganizing the curriculum and teaching to improve learning in science and mathematics. En Treagust, D. F., Duit, R. & Fraser, B. F. (Eds.), *Improving teaching and learning in science and mathematics* (pp. 79-93). New York: Teachers College Press.
- 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.
- Ferreirós, J., & Ordóñez, J. (2002). Hacia una filosofía de la experimentación. *Crítica. Revista Hispanoamericana de Filosofía*, 34 (102), 47-86.
- Galison, P. (1987). *How experiments end*. Chicago: University of Chicago Press.
- García, E. (2011). Filosofía de las prácticas experimentales y enseñanza de las ciencias. *Praxis Filosófica*, 31, 7-24.
- Gil, D., Pessoa, A., Fortuny, J. & Azcárate, C. (1994). *Formación del profesorado de las ciencias y la matemática. Tendencias y experiencias innovadoras*. Madrid: Editorial Popular.
- Gil, D. y Valdés, P. (1995). Contra la distinción clásica entre teoría, prácticas experimentales y resolución de problemas: el estudio de las fuerzas elásticas como ejemplo ilustrativo. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, 9, 3-25.
- Gil, D. y Valdés, P. (1996). La orientación de las prácticas de laboratorio como investigación: un ejemplo ilustrativo. *Enseñanza de las Ciencias*, 14 (2), 155-163.
- Hacking, I. (1996). *Representar e Intervenir*. Trad. Sergio F. Martínez (1ª ed. en inglés: 1983). México: Instituto de Investigaciones Filosóficas – UNAM / Paidós.
- Hodson, D. (1993). Re-thinking old ways: Towards a more critical approach to practical work in school science. *Studies in Science Education*, 22, 85-142.
- Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (3), 299-313.

- Hodson, D. (1996) Practical work in school science: Exploring some directions for change. *International Journal of Science Education*, 18 (7), 755-760.
- Hodson, D. (2003) Time for action: Science education for an alternative future. *International Journal of Science Education*, 25 (6), 645-670.
- Hottecke, D. & Silva, C. (2010). Why Implementing History and Philosophy in School Science Education is a Challenge: An Analysis of Obstacles. In *Science & Education*.
- Iglesias, M. (2004). El giro hacia la práctica en filosofía de la ciencia: una nueva perspectiva de la actividad experimental. *Revista de Ciencias Humanas y Sociales*, 20, 44
- Koponen, I., & Mäntylä, T. (2006). Generative Role of Experiments in Physics and in Teaching Physics: A Suggestion for Epistemological Reconstruction. *Science Education*, 15, 31-54.
- Latour, B & Woolgar, S. (1995). *La vida en el laboratorio. La construcción de los hechos científicos*. Madrid: Alianza Universidad.
- Latour, B. *La science telle qu'elle se fait*. París: La découverte [Trad. Germán Pineda, Bogotá: Universidad Nacional, manuscrito].
- Mach, E. (1948). *Conocimiento y error*. Buenos Aires: Espasa-Calpe.
- Malagón S. J. (2002). Teoría y experimento, una relación dinámica: implicaciones en la enseñanza de la física. Departamento de Física, Universidad Pedagógica Nacional Colombia (documento inédito).
- Malagón, J. F. et ál. (2011). *El experimento en el aula: comprensión de fenomenologías y construcción de magnitudes*. Bogotá: Fondo Editorial Universidad Pedagógica Nacional.
- Matthews, M. R. (1994). Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (2), 255-277.
- Osborne, J., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R., & Duschl, R. (2003). What “ideas-about-science” should be taught in school science? A Delphi study of the expert community. *Journal of Research in Science Teaching*, 40, 692-720.
- Pickering, A. (1995). *The mangle of practice. Time, agency and science*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Romero, A. et ál. (2011). *La experimentación y el desarrollo del pensamiento físico. Un análisis histórico y epistemológico con fines didácticos*. CIEP, Informe de investigación.
- Romero, A. & Rodríguez, L.D. (2006). El concepto magnitud como fundamento del proceso de medición: la cuantificación de los estados de movimiento y sus cambios. *Revista Educación y Pedagogía*, 30 (43).
- Segura, D. (1993). *La enseñanza de la física. Dificultades y perspectivas*. Bogotá: Fondo Editorial Universidad Distrital Francisco José de Caldas.



- Shapin, S. (1991). Una bomba circunstancial. La tecnología literaria de Boyle. En Callon, M., Latour, B. & Woolgar, S. (1995). *La vida en el laboratorio. La construcción de los hechos científicos*. Madrid: Alianza Editorial.
- Shapin, S. & Schaffer, S. (1985). *Leviatan and the air-pump: Hobbes, Boyle and the experimental life*. Princeton: Princeton University Press.
- Steinle, F. (2002) "Challenging established concepts. Ampere and exploratory experimentation". *Teoría*, 17 (44), 291-316.
- Tamayo, O. (2009). *Didáctica de las ciencias: la evolución conceptual en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias*. Manizales: Editorial Universidad de Caldas.
- Tamayo A., & Orrego C., M. (2005). Aportes de la naturaleza de la ciencia y del contenido pedagógico del conocimiento para el campo conceptual de la educación en ciencias. *Revista Educación y Pedagogía*, 17 (43), 13-25.
- Toulmin, S. (2003). *Regreso a la razón*. Barcelona: Ediciones Península.
- Watson, J.R. (1994). Diseño y realización de investigaciones en las clases de Ciencias. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 2, 57-65.



# Capítulo 3.

## Pensar y actuar en el aula. La construcción de conocimiento a través de la experimentación: el caso de la combustión

Miyerdady Marín Quintero<sup>23</sup>  
Edwin Germán García Arteaga<sup>24</sup>

### Resumen

El presente capítulo resalta nuevos enfoques de la enseñanza de las ciencias derivados de los aportes de la historia y la filosofía de las ciencias respecto al papel de la experimentación, particularmente sobre el caso fenomenológico de la combustión. Se destacan aspectos fundamentales de la relación dialógica entre representar e intervenir, en la construcción del conocimiento científico, y se sugieren elementos para una propuesta de intervención, recogidos en el marco del taller que sobre combustión se realizó en la Universidad Pedagógica Nacional.

### Introducción

La enseñanza de las ciencias es un campo que experimenta amplias transformaciones en las últimas décadas. Además de la falta de comprensión de los fenómenos asociados,

---

<sup>23</sup> Mg. Educación en Ciencias Naturales, Universidad del Valle. miyermara@gmail.com

<sup>24</sup> Doctor en Didáctica de las Ciencias Experimentales. Grupo de investigación Ciencia, Educación y Diversidad (CEyD), Universidad del Valle. edwingermangarcia@hotmail.com

los conceptos estudiados y las dificultades cognitivas identificadas por muchos investigadores se considera ahora la poca importancia dada a la actividad experimental en el aula, lo cual sugiere la necesidad de avanzar en estudios que permitan plantear alternativas de intervención en el aula.

Nuestro interés es mostrar a partir de un ejercicio práctico la importancia de la experimentación en la construcción de conocimiento científico en el aula. Se destaca en la propuesta el papel de la experimentación en la construcción del conocimiento científico, particularmente la experimentación exploratoria establecida por Andy Pickering (1986) que destaca la relación fundamental entre el pensar y el hacer y que denomina “conocimiento práctico”. Se ha seleccionado el fenómeno químico de la combustión, por ser de gran relevancia y porque las investigaciones evidencian las dificultades que presentan los estudiantes en su comprensión y apropiación. Partimos de un análisis histórico-crítico sobre los problemas y episodios experimentales como son: la quema de cuerpos orgánicos, la calcinación de metales y la recolección de los gases. Posteriormente se avanza en una propuesta de enseñanza, basada en la recontextualización de saberes que sugiere una organización por núcleos actividades y de experimentación para promover la construcción de explicaciones por parte de los estudiantes y la intervención del docente desde la perspectiva cultural del dialogo de saberes.

## **Representar e intervenir: nuevos enfoques de la experimentación**

La actividad experimental ha existido desde la antigüedad, sin embargo hoy en día algunas academias y comunidades separan los teóricos de los experimentalistas, siendo los primeros los de mayor reconocimiento y estatus, minimizando el papel de la experimentación en la construcción del conocimiento científico o en el mejor de los casos subordinándolo a los modelos teóricos. La preocupación de algunas corrientes filosóficas por dar reconocimiento tácito a la existencia de las ciencias experimentales (Artigas 1989) dimensiona el problema actual. La reflexión sobre la importancia de la experimentación y su función en la sociedad se ha convertido en foco importante para la filosofía de la ciencia, pues las tradiciones experimentales desde un comienzo centraron el análisis en el conjunto de la práctica científica, pero se quedaron solo en el resultado de esta práctica, es decir en las teorías científicas (Estany, 2007) y dejaron por fuera la importancia misma de la actividad experimental.

## La actividad científica experimental

Algunos historiadores consideran que con Galileo se configuró la llamada ciencia experimental aunque la experimentación como práctica ya se había iniciado y propagado antes en Grecia con los trabajos de Arquímedes, Hieron e Hiparco, entre otros. Sin embargo, la reflexión sobre la práctica misma es más bien reciente, desde Bacon se han suscitado múltiples reflexiones en la filosofía de las ciencias sobre ¿cuál es el papel del experimento y la experimentación en la actividad científica?

La filosofía de la ciencia se ha ocupado siempre de la relación entre la teoría y el experimento, pero este siempre ha sido supeditado a aquella. La llamada carga teórica de la observación, defendida por los filósofos del círculo de Viena y posteriormente reconocida como parte de la concepción heredada, centra la atención del debate en la producción de las teorías científicas, llegando a atribuirse al experimento el papel de comprobador o verificador de teorías (Carnap, 1936) o el papel de falseador de las mismas (Popper, 1935) para quien “solo cabe realizar experimentos a la luz de las preguntas y los conceptos determinados por una teoría”. Solamente hasta la aparición del libro *La estructura de las revoluciones científicas* (Kuhn, 1962) se sugirió que no hay distinción definida entre teoría y observación, y que el contexto de justificación no puede separarse del contexto de descubrimiento. La importancia de estas ideas promovieron nuevos enfoques en la filosofía de las ciencias, siendo uno de ellos la llamada filosofía de la experimentación (Hacking, 1996), en el que se da un giro a la relación teoría y práctica experimental, al otorgar importancia y reivindicar el papel de la experimentación. El giro hacia la práctica, en filosofía de la ciencia, obliga a que los temas de racionalidad, objetividad, verdad y mundo dejen de ser tratados desde la teoría y a que se redefinan nuevos problemas filosóficos, promoviendo una nueva imagen de la ciencia (Iglesias, 2004).

### ¿Cuáles son esos los problemas filosóficos?

Para Hacking (1983) “la filosofía debía empezar a reflexionar sobre lo que comenzó por allá en el siglo XVII. La aventura que entonces se inició, y que puso por base la experimentación, fue llamada filosofía experimental”. En estudios de caso realizados se ha puesto en evidencia el papel relevante de la experimentación en la construcción de conocimiento. La práctica experimental no es nueva, pues los antiguos griegos ya realizaban actividades experimentales; Arquímedes, Hierón, Cardano, entre otros. Pero serán Gilbert y Galileo los primeros en sistematizar y caracterizar publicaciones donde

la base empírica de la física está formada por resultados experimentales (Ordoñez, 2004). La historia de la ciencia identifica cómo los estudios experimentales fueron sobresalientes en la actividad científica, tal es el caso de Galileo, Gilbert, Gray, Boyle, Harvey, Hauskbee, Volta, Newton, Lavoisier, Franklin y Faraday entre muchos que fundamentaron y estructuraron el conocimiento científico teniendo como referencia la actividad experimental. El caso de Faraday es llamativo porque los historiadores han encontrado que sus trabajos *tuvieron una auténtica y genuina base experimental*, esto es, siguiendo a Hacking, que los experimentos tenían “vida propia”, el laboratorio era en sí mismo un espacio de construcción de conocimiento. La base empírica no consistía en situaciones naturales, sino que los experimentos eran creados, los aparatos se diseñaban y construían para producir o evidenciar efectos deseados.

Con las investigaciones de estudios de caso, los filósofos de la ciencia quieren poner de manifiesto que en la actividad científica existe una carga experimental (Hacking, 1983; Galison, 1987; Pickering, 1989; Gooding, 1990) que no había sido reconocida hasta el momento, lo cual promueve una nueva imagen de ciencia alejada del positivismo científico. Como parte de las críticas se asume que la miseria del teoreticismo está en reducir la riqueza y la complejidad del proceder científico a un asunto de mera elaboración conceptual (Ordoñez, 2002), dejando de lado la riqueza de conocimiento que se esconde detrás de las prácticas experimentales.

Para Pickering (1989) en la producción de cualquier resultado experimental entran en juego tres elementos: un procedimiento material, un modelo instrumental y un modelo fenoménico. El procedimiento material implica disponer de los aparatos e instrumentos necesarios; verificar que funcionen y controlar su funcionamiento encierra un conocimiento práctico. El modelo instrumental reivindica el diseño, realización e interpretación del experimento, para lo cual es fundamental la comprensión conceptual del funcionamiento de aparatos e instrumentos; el experimentador tiene un modelo conceptual que le permite identificar, aplicar y usar los aparatos. Y el modelo fenoménico refiere a la comprensión conceptual de los aspectos del mundo fenomenológico que está siendo estudiado por parte del experimentador, sin él los resultados carecerían de sentido y significación, y no podrían ser interpretados (García 2011).

## **La experimentación cualitativa**

En la experimentación existen experimentos cualitativos y cuantitativos o experimentación exploratoria y experimentación guiada. Para la corriente del positivismo la actividad científica era fundamentalmente describir los procesos de elaboración de

teorías científicas de acuerdo con mediciones y datos precisos obtenidos en experimentos cuantitativos. Esta manera de asumir el experimento como una versión oficial del método científico llevó a borrar del mapa la experimentación cualitativa (Ordoñez & Ferreiros, 2002). La filosofía experimental rescata el papel de los experimentos cualitativos y su incidencia en la construcción de conocimiento, y “es que, al menos en física, los experimentos cualitativos han sido una parte fundamental de los procesos de formación de conceptos (procesos de formación de datos)” (Franklin, 2002). Se reconoce cómo la experimentación cualitativa ha estado presente en las fases de desarrollo de una ciencia, lo que resulta interesante desde el punto de vista epistemológico, porque permite caracterizar la edad temprana de una ciencia, por ejemplo Hilborn (1988) en sus análisis históricos sobre electricidad dice que “este juego exploratorio posibilitó la distinción entre materiales conductores y no conductores”. Oersted y el propio Faraday trabajaron de manera más intuitiva y directa, modelando sus concepciones según algunos rasgos fenomenológicos (o fenomenotécnicos) que surgían directamente de los experimentos que realizaron; y como resultado del experimento, “el modelo fenoménico es refinado, acomodado y especificado con mayor precisión” (Ordoñez & Ferreiros, 2004).

Otro aspecto que resulta importante desde la filosofía de la experimentación es la construcción del discurso; existe una forma de argumentar y de conocimiento diferente al que se da en la deducción, es necesario, según Galison (1990), admitir que en la acción hay pensamiento, hay un lenguaje diferente que se expresa en la actividad experimental y del cual surgen pensamientos e ideas que posteriormente se articulan conceptualmente. El lenguaje experimental está presente al diseñar y construir aparatos, también al manipular entidades y crear fenómenos, la naturaleza no se nos muestra por sí sola, ella se abre, se despliega, según lo imponga la manera a la que fue sometida en una acción específica, esto es, la manera de construir explicaciones está asociada a la forma como diseñamos y controlamos la experimentación.

## ¿Teoría vs experimento?

Algunos podrían considerar que la filosofía experimental descalifica la importancia misma de las teorías en la ciencia, pero no es así. Se trata fundamentalmente de recuperar el papel que históricamente ha tenido la experimentación. Sin embargo para no caer en relativismos extremos es importante avanzar a una interacción entre teoría y experimentación, donde una no sea subsidiaria de la otra, sino que se complementen mutuamente. Para ello es necesario replantear las formas de representar el conocimiento, en las que la denominación de “práctica científica”, que hace referencia a la actividad

de los científicos, no sea determinada solo por el producto –teorías– sino también por el proceso de dicha actividad –práctica– (Estany, 2007). Un aporte en esta dirección lo sugiere Edwin Hutchins (1995) al proponer “la cognición socialmente distribuida” donde hay una interacción entre el sujeto y su entorno; los aparatos e instrumentos no existen independientemente sino que son una extensión del pensamiento, por lo tanto al pensar y actuar experimentalmente se pone en juego un sistema de representación que involucra el todo. Se pone de relieve aspectos sociales y culturales del sujeto como constructor del conocimiento. El entorno material se hace relevante en la medida que el sujeto lo hace parte de su cognición y lo valida socialmente. Este planteamiento coincide con quienes consideran que la ciencia es una actividad cultural, realizada de acuerdo con intereses individuales, sociales, económicos, y políticos. Lo importante de este enfoque es que se considera, además de la conducta y el proceder del científico, los procesos cognitivos que intervienen en dicha conducta; esto es, necesidades y formas de ver el mundo, de describirlo, caracterizarlo y modelarlo, teniendo en cuenta los contextos sociales y culturales en los que se desenvuelve el científico.

Finalmente se debe reconocer que la filosofía experimental promueve una nueva imagen de ciencia, orientada por una relación entre la teoría y el experimento mucho más profunda y con mayor riqueza conceptual. Cuando se asume la perspectiva de estudios de caso, se encuentra que no es la teoría la que siempre ha guiado la ciencia, que la relación entre teoría y experimento ha sido diversa y no unitaria y que pensar la importancia de la experimentación en la construcción del conocimiento científico produce grandes transformaciones en nuestras formas de entender, intervenir y transformar la ciencia.

## **La experimentación en el fenómeno de la combustión**

Aunque no se puede descartar que los antiguos griegos ocasionalmente hayan efectuado algún tipo de experimentación, primaba la descripción cualitativa y el razonamiento inductivo (análisis de los casos particulares para llegar al conocimiento general); en esto se basó el enfoque experimental de la época, cuya tarea consistió en el descubrimiento de aspectos importantes del fenómeno investigado. Tal vez las preguntas que se plantearon los griegos en torno a la combustión fueron ¿por qué unos cuerpos se queman y otros no? y ¿cuál es la causa que explica las transformaciones de los cuerpos? Esto es, la conversión de unos cuerpos en otros.



Los alquimistas realizaron valiosos aportes en términos de conocimientos prácticos sobre el comportamiento químico de los materiales y las técnicas experimentales necesarias para demostrar dicho comportamiento; desarrollaron técnicas de destilación, que se convirtió en práctica cotidiana, identificaron sustancias hasta entonces ignoradas, como el “aceite de vitriolo” o ácido sulfúrico y explicaron el fenómeno de la combustión como una disgregación irreversible de los materiales que se quemaban, acompañada de un espectacular desprendimiento de luz y de calor, que requería la presencia de aire. Para la época, se hacía uso de instrumentos característicos de un gabinete químico, con muy poca variación desde la antigüedad.

Para explicar el comportamiento de los cuerpos que se queman, Stahl (1660-1734) se propuso comparar la combustión de los cuerpos orgánicos con la calcinación de los metales. Se preguntó ¿cómo explicar la similitud de los procesos de combustión y calcinación sobre la base del mismo cuerpo teórico?

El flogisto, según Stahl, está presente en las sustancias combustibles y se libera cuando los cuerpos arden, sea estos de origen orgánico (aceite, madera, carbón, grasas) o mineral. Lo que resulta luego del escape de flogisto en la quema de un cuerpo orgánico, como la madera, es ceniza; mientras que de la quema de un metal se obtiene una cal. Según el grado de flogisticación clasificó los cuerpos entre aquellos que tienen menos o más flogisto. Estos últimos los describió como materiales que se caracterizan por arder con mayor intensidad y facilidad, entre los que incluyó al carbón vegetal, al cual consideró flogisto casi puro, ya que arde por mucho tiempo y luego de la combustión no deja ningún residuo.

Al presentar una nueva sustancia, se indicaban las características más importantes descritas por los químicos: su color, su estado de agregación, su comportamiento frente a otras sustancias, sus propiedades médicas o su modo de preparación más habitual. La posibilidad experimental de transformar el metal en cal y la cal en metal, despojándoles o reponiéndoles “algo”, ha sido valorado por muchos como uno de los hallazgos más relevantes de la época. Constituye un caso en el cual haciendo abstracción del juicio y de la razón obliga a la naturaleza a responder por sus cuestiones.

El aporte del flogisto a la comprensión de los fenómenos químicos es muy valiosa, al menos en dos aspectos: es una explicación experimental de fenómenos que hasta entonces se habían considerado distintos –la calcinación y la combustión (y también

la reacción de los ácidos con los metales)- y hace de la química una ciencia experimental que tiende a dejar de ser una ciencia única y a incorporar las afirmaciones de la mecánica respecto a la materia.

Por su parte Black, respecto al calentamiento del mineral de calcio (carbonato de calcio), observa una sustancia volátil (dióxido de carbono) y un residuo, la cal metálica (óxido de calcio), calienta la cal metálica en presencia de aire y obtiene de nuevo el mineral de calcio, esto lo explica al razonar que la cal había recuperado la sustancia volátil que se había perdido originalmente, a la que llamó “aire fijo”, ya que parecía que se encontraba fijo en el mineral de calcio. De esta manera, al efectuarse la reacción en presencia del aire, este debía ser un componente propio del mismo, es decir, se ponía de manifiesto que el aire debía contener el gas.

A partir del estudio de distintos aires realizados por Boyle, Hales, Black y Priestley, surgen interrogantes acerca de la caracterización de aquellos aires que intervienen en los procesos de combustión y calcinación de los metales; y se plantean preguntas cruciales como: ¿es el aire algo compuesto?, ¿existen diferentes especies de aire?, ¿basta con que un cuerpo se halle en estado de expansibilidad para que constituya una especie de aire?, los diferentes aires que la naturaleza nos ofrece o que nosotros conseguimos producir, ¿son sustancias aparte o son modificaciones del aire de la atmósfera?

La obtención del oxígeno experimentalmente ha sido un tema que ha generado polémica histórica, dado que han sido tres hombres quienes con sus trabajos lo han conseguido: Scheele, Priestley y Lavoisier. Para Scheele (1742-1786), el flogisto le permitía caracterizar uno de los dos “aires” que componen la atmósfera: el *aire inmundo* (ligero, saturado de flogisto y más abundante) y el *aire de fuego* (pesado, carecía de flogisto y menos abundante). El aire inmundo, es el que conocemos con el nombre de nitrógeno, mientras que el aire de fuego, corresponde al oxígeno. Scheele anotó que el gas carecía de olor y que podía servir mejor que el aire normal para mantener la combustión de la vela. Lavoisier, con sus trabajos desarrollados desde 1772 hasta finales de 1778, logró el reconocimiento y denominación del oxígeno. Su obra está caracterizada por la aplicación sistemática de un método experimental riguroso y cuantitativo al estudio de los cambios químicos. En su publicación de agosto de 1778 expresó sus interpretaciones acerca del papel que desempeña el carbón, comprobó que este no es indispensable en la calcinación y combustión de los cuerpos como fuente de flogisto, por el contrario, que reacciona con uno de los dos componentes

del aire ordinario, el aire *eminente respirable*, para formar el aire fijo de Priestley (dióxido de carbono).

Priestley estaba interesado en el estudio de nuevos gases, en identificarlos y caracterizarlos, y utiliza la cuba neumática para recogerlos. Pero en lugar de agua usa mercurio para estudiar gases solubles en ella. En las pruebas de identificación utiliza frecuentemente una planta o un animal que coloca dentro de una campana llena del nuevo aire que quiere caracterizar. Lavoisier afirmaba que las experiencias habían sido realizadas previamente por Priestley, pero remarcaba que los mismos hechos los habían conducido a consecuencias diametralmente opuestas. Eran diferentes los planteamientos de Priestley y Lavoisier frente a los usos del experimento, los instrumentos científicos y la precisión. La experiencia de análisis y síntesis del agua, por requerir instrumentos caros y complicados de utilizar, ocasionaba problemas para poder repetir la experiencia y comprobar los resultados. Las diferencias frente al método y la interpretación de los resultados del experimento permitieron dejar abierta la polémica entre ambos autores.

A lo largo del siglo XVIII se produjo una transición muy lenta desde la noción del aire como sustancia elemental a la idea de que existían “diversos tipos de aires” en la atmósfera. Lavoisier (1772) se interesó por analizar las causas de la formación de los vapores, dando su interpretación como fluidos elásticos formados por una sustancia particular de cada uno de ellos y la materia del fuego. Debió conocer los experimentos de Hales sobre la química neumática, empezó a interesarse por las propiedades de los vapores, la naturaleza del fuego o los orígenes de los elementos químicos. Al respecto algunas preguntas relevantes fueron ¿qué leyes rigen el curso de las transformaciones de los cuerpos?, ¿cómo poner en evidencia un elemento activo en el aire?, ¿cuál es la naturaleza de la sustancia del aire que participa en la combustión?

Lavoisier realizó experiencias variadas con el fósforo con el objetivo de calcular los cambios de peso producidos, basado en el supuesto implícito de la conservación de la cantidad total de masa durante una transformación química. Si alguna de las cantidades totales de un producto o de un reactivo no podía ser conocida con facilidad, Lavoisier podía calcularla a través de lo que actualmente se denomina un balance de masas entre reactivos y productos. Lavoisier había sometido todos sus resultados a la medida, al cálculo, a la balanza, método riguroso que, felizmente para el progreso de la química, empieza a ser indispensable en la práctica de esta ciencia. Se interesó por analizar las

causas de la formación de los vapores, dando su interpretación como fluidos elásticos formados por una sustancia particular de cada uno de ellos y la materia del fuego. Realiza una serie de experiencias sobre la calcinación del plomo y la combustión del azufre y el fósforo que tendrían consecuencias cruciales y dirigirían sus investigaciones posteriores hacia los procesos químicos de desprendimiento y fijación del aire.

## La experimentación en la enseñanza de las ciencias

Guidoni *et ál.* (1990) en su libro *Enseñar ciencias* establecen que “nada se puede transferir a una cultura sin que sea transformado por ella”. Si analizamos con detalle esta afirmación encontramos que el papel del docente es el transformador de la cultura en tanto que debe apropiarse las problemáticas fundamentales de la actividad científica para fomentar su transformación como mediador cultural que es en el contexto del aula. Hacer de la actividad científica una actividad humana que responde a contextos culturales implica reconocer el conocimiento *de* y *sobre* la disciplina, como lo sugiere Duschl (1997) y Duit (2006). El primer aspecto, el conocimiento *de* la disciplina, es el conocimiento de la lógica interna caracterizada por la comprensión fenomenológica de la disciplina y la fundamentación lógico-matemática. El segundo aspecto, el conocimiento *sobre* la disciplina, implica el conocimiento de las dinámicas sociales y culturales que inciden en la construcción de la disciplina y que determinan su validez y legitimidad. El reconocimiento de estas formas de asumir la ciencia por parte del docente le permite hacer propuestas de intervención y transformación en el aula.

### ¿Qué significa “saber” una disciplina?

“Saber” es un concepto que implica dominio del campo objeto de estudio; pero dominar el campo no es que el individuo se convierta en una biblioteca ambulante, es más bien adquirir formas de pensar e intervenir sobre dicho campo, identificar problemáticas fundamentales tanto *de cómo sobre* la disciplina. Para Ayala (2004) la enseñanza de las ciencias se debe preocupar por:

- a. análisis de los procesos cognitivos y comunicativos en la enseñanza-aprendizaje, y
- b. análisis de los procesos y dinámicas culturales involucrados en la difusión, apropiación y reconstrucción de saberes científicos.

Sin embargo, reconoce que los llamados contenidos disciplinares a partir de los cuales los maestros aprenden en su proceso de formación profesional han sufrido muy poca transformación. Admite que si bien se ha fortalecido la investigación sobre los aspectos pedagógicos en la formación docente, incorporando incluso aportes nuevos de la historia, filosofía y sociología de la ciencia, se ha dejado la formación en ciencias como tal, pues los “contenidos” a enseñar no varían sustancialmente. Parece que los contenidos a ser enseñados son aquellos que por tradición los libros de texto y algunos currículos oficiales presentan. En este sentido, la didáctica solamente se ocuparía del cómo enseñar, dejando de lado la pregunta ¿qué enseñar? (Izquierdo, 2008).

Reconocer que la selección de los contenidos a ser enseñados representan un problema, es un paso fundamental para el docente, ya que implica un conocimiento de la disciplina en forma integral –su historia, su filosofía, los procesos de formalización, los usos sociales y las aplicaciones tecnológicas– y no únicamente los conceptos como definiciones y aplicaciones matemáticas, lo cual implica una revisión profunda de los contenidos a ser enseñados (Pro & Saura 2001). Estos no se pueden considerar aislados del problema de la enseñanza, sino que, por el contrario, deben estar en función de los objetivos del aprendizaje y, por lo tanto, deben responder a las necesidades e intereses de los alumnos y profesores. Si la ciencia se considera como una actividad humana, entonces los contenidos cambian y se hacen más dinámicos.

Las investigaciones han mostrado que los alumnos revelan profundas incomprendiones sobre el significado de los conceptos centrales de los contenidos enseñados, serias limitaciones a la hora de resolver problemas y actitudes negativas hacia la ciencia y hacia su aprendizaje (Pesa, 2004). Conocer los conceptos y definiciones no garantiza una buena formación, pues las investigaciones realizadas han puesto de manifiesto las dificultades conceptuales que presentan los estudiantes, incluso después de recibir cursos de formación general.

Los estudios realizados ponen en evidencia las deficiencias conceptuales que presentan los estudiantes (Viennot, 2002) y docentes en formación inicial (Furió, 1997; García, 2009), así como en las imágenes de ciencia que se forman (Petrucci, 2001). Al revisar las investigaciones realizadas sobre la formación inicial docente se aprecia, entre otros aspectos, una preocupación por las dificultades conceptuales que presentan los estudiantes después de recibir los cursos fundamentales. La literatura es abundante para describir evidencias de las dificultades que presentan los estudiantes tanto en aspectos cognitivos como procedimentales y actitudinales.

Si analizamos los aspectos cognitivos, identificamos dificultades conceptuales que se reflejan en una falta de comprensión y apropiación de los conceptos fundamentales, conceptos erróneos y ausencia de un conocimiento histórico *de* y *sobre* la disciplina. En cuanto a lo procedimental, los vacíos se identifican en la falta de reconocimiento y manejo de instrumentos y aparatos, la comprensión fenomenológica del comportamiento de dichos aparatos, la ausencia de experimentación cualitativa exploratoria y la poca articulación entre la experimentación y los modelos de explicación. Respecto al aspecto actitudinal, se identifican ausencia de una comprensión de la problemática social y cultural de la actividad científica, falta de articulación entre la vida cotidiana y los problemas de la ciencia y poca valoración de la actividad científica.

Pozo (1998) identifica como uno de los problemas en la enseñanza de las ciencias naturales “la desconexión entre el conocimiento que los alumnos generan para dar sentido al mundo que nos rodea, un mundo de objetos y personas, y el conocimiento científico, plagado de extraños símbolos y conceptos abstractos referidos a un mundo más imaginario que real”. Pocas veces se considera la posibilidad de que los alumnos adquieran conocimientos a partir de la realidad en que se encuentran; en este sentido surge la necesidad de vincular el objeto de aprendizaje con la realidad y la experiencia previa del estudiante para darle mayor significado al conocimiento que se enseña y aprende en la clase de ciencias naturales.

Según Andersson (1990) los distintos modelos de transformación de la materia (cambio químico) constituyen esquemas explicativos que los estudiantes utilizan para dar cuenta de los cambios en las sustancias, algunos de los modelos usados por los estudiantes para explicar la quema del alcohol son el modelo de desaparición de productos, modificación y desplazamiento de materia. Explican, por ejemplo, “porque al entrar en contacto con el calor el alcohol se evapora disminuyendo su peso y masa también, el alcohol se va acabando y el fuego se apaga”, “se somete al calor y este (el alcohol) tiene sustancias que al hacer contacto con el fuego este forma una llama ocasionando la evaporación”. Evidentemente, es un cambio de estado de la materia vinculado con la evaporación, pero favorecida por el calor, ya que el alcohol, luego de hacer combustión, pasa a estado gaseoso; por ende, se podría recuperar el alcohol a partir de los gases obtenidos (modelo de modificación).

Desde el modelo explicativo de desplazamiento de materia los estudiantes consideran que los componentes del reaccionante desaparecen del material original y aparecen en otro lugar. Los materiales producto, aunque no se vean, deben estar de alguna manera

contenidos en los materiales de partida (Driver, 1986). Pocos estudiantes explican que al quemarse el alcohol se obtienen sustancias tales como agua; para que se obtenga sustancias como el agua en la combustión del alcohol esta debe estar contenida en los componentes del alcohol, aunque no fuera posible verlo. Respecto al agua como producto de combustión, resulta difícil asumir que se produce en los procesos de combustión orgánica, al igual que en las interpretaciones históricas dadas al respecto.

En este sentido, Reigosa (2000) propone plantear las prácticas experimentales como problemas auténticos a resolver, los cuales se caracterizan porque se sitúan en contextos próximos al estudiante, captan el interés sobre cuestiones relativas a su vida cotidiana o su cultura, son creíbles y cuya resolución implica operativizar conocimientos del campo de las ciencias naturales que, además, no está definida previamente pudiendo no ser única. Opinan que tales prácticas constituyen el mejor contexto para que los alumnos desarrollen destrezas y, organizados en pequeños grupos, proporciona oportunidades para que construyan significados, desarrollen comprensión conceptual y actitudes favorables.

## Paralelismo histórico

Los estudios han señalado que las explicaciones que los estudiantes brindan a los fenómenos naturales son muy similares a aquellas ideas que fueron aceptadas en algún momento en la historia de la ciencia. Es importante aclarar que tal paralelismo no debe entenderse de manera literal. Las explicaciones de los estudiantes y las elaboraciones de los científicos en un cierto período histórico se dan en contextos muy distintos, sería una actitud ligera y simplista considerar que el pensamiento del estudiante se corresponde por completo a un paradigma histórico; además, hay explicaciones que los estudiantes conciben que no se identifican con alguna etapa del desarrollo histórico de la ciencia.

La utilidad que tendría para la enseñanza de las ciencias establecer tal paralelismo estriba en la posibilidad de extraer alguna información sobre el pensamiento espontáneo de los estudiantes a partir de la historia de la ciencia; además, ofrece al maestro la oportunidad de motivar el conocimiento sobre la misma. Por lo tanto, resulta importante para la enseñanza revisar las concepciones de los estudiantes respecto a los fenómenos con el ánimo de comprender los distintos puntos de vista que pueden llegar a coincidir con los esquemas explicativos de la ciencia y, de esta manera, facilitar el diseño de estrategias de aprendizaje que posibiliten la organización de estructuras conceptuales y

metodológicas vinculados con las interpretaciones científicas. Esto aporta elementos para el diseño de secuencias de actividades apropiadas para implementar en el aula, que permitan la familiarización con los hechos y fenómenos objeto de estudio, la comprensión conceptual y el desarrollo de aspectos fundamentales de tipo procedimental.

## Pensar y actuar sobre la combustión en el aula

Las propuestas alternativas para la enseñanza de las ciencias son muchas y muy variadas, incluso las que hacen uso de la historia de las ciencias. Sin embargo, la particularidad de la propuesta que se presenta está en la intención que la orienta. De una parte se hace uso de la historia de la química través de la selección, análisis y recontextualización de episodios y problemáticas fundamentales; y de otra parte recoge elementos de una teoría de contenidos cuyo aporte se da en la construcción significativa del conocimiento, desde la perspectiva de la ciencia como actividad humana y cultural. Se busca con ello involucrar a los estudiantes en la actividad misma de organización y construcción de la experiencia, ampliar su visión sobre el fenómeno químico y poder confrontar sus explicaciones con las que circulan tradicionalmente. Se puede decir que la propuesta ha provisto formas de ver viejos problemas con nuevos ojos y de esta forma ver lo que antes no se había visto.

Se demuestra la importancia de los aportes de la filosofía de las prácticas experimentales en los nuevos enfoques y orientaciones de la didáctica, entre los que se destacan los siguientes aspectos:

- *Mayor relevancia a los experimentos cualitativos:* dar mayor importancia a los experimentos cualitativos, no solamente para describirlos o justificar la teoría sino, más bien, para mostrar su relevancia en la construcción de conocimiento. En este sentido, este tipo de experimentos deben contener riqueza conceptual. Las preguntas o situaciones problema pueden orientar su presentación.
- *Posibilitar la exploración experimental y conceptual:* la riqueza conceptual que hay en la exploración de los fenómenos permite confrontar y avanzar en la construcción y organización de explicaciones por parte del estudiante. Estamos de acuerdo con que construir conocimiento es llenar de significado una actividad; en este caso, llenar de significado la experimentación. Esta manera de abordar los fenómenos permite que la persona puede extraer –a partir de la experiencia– conclusiones que le sean significativas en torno al comportamiento de los materiales, enriquecer la experiencia sensible, empezar a organizar una imagen



acerca de la combustión, posibilitar explicaciones ligadas a la experiencia misma y contrastar su conocimiento del fenómeno con otras formas de conocimiento tradicionalmente aceptadas.

- *La creación de artefactos y el procedimiento material:* tanto los aparatos como los instrumentos que utiliza el científico son relevantes en la construcción de conocimiento. En los libros de texto no se le da importancia a esta parte del conocimiento. Esto implica un saber práctico que se construye en la medida que se manipulan los recursos, se busca que funcionen y se controla su funcionamiento. El libro de texto puede contribuir en esta exploración con preguntas orientadas hacia el diseño y construcción de aparatos.

## El estudio de la combustión

El estudio de la combustión de los cuerpos se puede abordar atendiendo a dos aspectos fundamentales: la descripción fenomenológica y los modelos de explicación. Para este caso de la enseñanza de la combustión se consideran una serie de núcleos de actividades que ponen de manifiesto el papel de la experimentación en la comprensión y construcción de explicaciones al fenómeno.

Con este núcleo de actividades se espera entre otros aspectos:

- a. Enriquecer la experiencia sensible del estudiante. Esto es, acercarlo a la actividad experimental en la construcción y organización de formas de explicar el fenómeno de la combustión;
- b. Extraer a partir de la experiencia conclusiones que le sean significativas. Es lo que algunos autores llaman conocimiento significativo;
- c. Lograr un mayor control en la producción de efectos. Para ello es importante la realización misma de experiencias y la utilización de aparatos e instrumentos en función de su utilidad y su comportamiento fenomenológico;
- d. Organizar modelos de explicación en torno a la combustión en correspondencia y diálogo con el conocimiento científico;
- e. Posibilitar explicaciones ligadas a la experiencia misma, así como promover la realización de nuevos experimentos en el aula, y
- f. Contrastar y validar el conocimiento del fenómeno con grupos, con la información que circula, con libros de texto y otros.

Se aborda uno de los problemas de investigación de mayor relevancia en el ámbito educativo, específicamente el trabajo experimental en ciencias. Se aborda desde una perspectiva de la enseñanza de la química histórica y epistemológicamente contextualizada, donde la separación didáctica entre teoría, problema y experimentación no se presenta. Desde esta perspectiva se entiende que la ciencia involucra una red de elementos conceptuales, teóricos, instrumentales y metodológicos que se entrelazan para resolver problemas sobre el comportamiento de la naturaleza, generando un cuerpo de conocimiento compacto en el cual se conjugan aspectos teóricos y prácticos, que permite a los estudiantes el *aprendizaje de la ciencia* (involucra la adquisición y desarrollo de conocimientos teóricos y conceptuales), y la *práctica de la ciencia* (implica el desarrollo de conocimientos procedimentales) en el contexto de resolución de problemas.

### Los eventos naturales cotidianos

Para el estudio de caso que nos convoca se define el cuerpo teórico de referencia, *cambio químico*, a partir del cual se distingue el objeto de estudio en particular: la *combustión de los cuerpos*. Se reconoce como campo conceptual de gran valor histórico en el desarrollo de la química como disciplina científica experimental; es un concepto de una base empírica innegable presente en su proceso de construcción en la ciencia. Como proceso químico significó probablemente la base de la civilización actual, al establecer diferencia entre el hombre civilizado y el primitivo en cuanto al consumo de energía. Su estudio es de gran importancia industrial ya que tiene múltiples aplicaciones como, por ejemplo, el quemado bajo control de combustibles en calderas de vapor para procesos metalúrgicos o para calentar aire, en motores para producir empuje o potencia, en incineradores para destruir residuos.

Los eventos reales, como la quema de materiales combustibles o los incendios forestales, y usuales, como encender una cerilla o una vela, pueden convertirse en una oportunidad para problematizar e intervenir la realidad, de manera que se propicie la duda y se desencadenen inquietudes en el estudiante, que él se pregunte sobre qué son, para qué, cómo ocurren y por qué tales eventos, los relacione con los graves problemas ambientales que afectan a la humanidad y busque maneras de contribuir a su solución.

Algunos problemas que revisten carácter de auténticos y están en estrecha relación con el fenómeno de la combustión de los cuerpos son, por ejemplo, ¿por qué la quema de madera, estiércol, carbón o restos vegetales en espacios reducidos y poco aireados dentro del hogar, para cocinar o combatir el frío, constituye una de las amenazas más mortíferas?, ¿cómo construir un dispositivo que pueda apagar pequeños incendios

caseros?, ¿por qué el agua apaga el fuego en la quema de madera y papel?, ¿por qué no se debe apagar alcohol encendido con agua?, ¿por qué no se deben arrojar botellas y trozos de vidrio en bosques y lugares de campo?, ¿por qué en la luna los materiales no se queman? No es necesario que estos problemas los hayan vivido, sino que resulten posibles de manifestarse en el medio socio-natural y que conduzcan al estudiante al conocimiento que se desea enseñar-aprender.

## **Descripción fenomenológica de los procesos de combustión**

Proporcionar experiencia directa sobre los fenómenos, haciendo que los estudiantes aumenten su conocimiento tácito acerca de los sucesos y eventos naturales (Neus & Espinet, 1999) resulta relevante para introducir el tema de la combustión en el aula. En este sentido, las actividades experimentales son propicias para tales fines, puesto que son actividades exploratorias cualitativas que resultan ser interesantes y beneficiosas para acercar a los alumnos al fenómeno científico (Woolnoughen & Allsop, 1985).

## **Núcleos de actividades**

La manera como se han organizado las actividades se hace desde núcleos a partir de los cuales se busca la integración de un conjunto de interrogantes que se orientan hacia la descripción fenomenológica de la combustión. En este sentido se identifican dos núcleos centrales de actividades dirigidas hacia el estudio de: 1) los componentes de la combustión, y 2) Las condiciones necesarias para que se manifieste.

### *Componentes de la combustión*

Se trata de identificar las características de los materiales o sustancias que participan y la formación de nuevas sustancias, es decir, reconocer como componentes de la combustión: el combustible, el comburente y los productos obtenidos. Para ello, se propone a los estudiantes experiencias de observación: observar y describir la quema de un trozo de papel como un evento que es cotidiano.

#### **– Quema de materiales: papel, cerillas, madera, parafina...**

Algo tan común como quemar papeles o fósforos resulta de enorme utilidad para explorar el comportamiento de los materiales. Las descripciones que usualmente

realizan los estudiantes se limitan a cambios como el color y textura del papel luego de ser quemado, al igual que la presencia de llama (calor y luz) mientras se está quemando. Rara vez ofrecen indicaciones distintas o se da cuenta de detalles inusuales.

Preguntas pertinentes que permiten avanzar en la construcción de explicaciones son, por ejemplo: explique qué es lo que se quema, ¿qué sucede si la cerilla no se frota?, ¿qué espera encontrar después de la quema?, ¿todos los materiales (sustancias y cuerpos) se queman?, ¿qué requisitos son indispensables para iniciar la quema de los materiales? Con tales preguntas se pretende dar cuenta de la importancia de los componentes que caracterizan el fenómeno y la manera como se comporta.

Al indagar sobre *qué se quema*, se evidencia que usualmente los estudiantes identifican, por ejemplo, el palillo de madera como el material que se quema. Sin embargo, no sucede lo mismo con el fósforo, poco identifican los combustibles inorgánicos y algunos lo asumen solamente como un aditamento para favorecer que la madera arda. Usualmente se da cuenta de los combustibles de origen orgánico, es decir, aquellos que tienen combinaciones variables de carbono e hidrógeno fundamentalmente, como carbón de leña, petróleo, gas natural, estiércol, materiales celulósicos, polímeros y alcoholes, mientras que los combustibles de origen inorgánico de uso industrial, entre los que se tienen metales (magnesio, titanio, aluminio), no metales (boro, fósforo) y otros que son compuestos complejos, como combustibles de cohetes y explosivos, son poco conocidos.

Al indagar sobre *por qué ciertos materiales (sustancias y cuerpos) se queman y otros no*, es decir, sobre las características que tienen en común dichos materiales para que ardan o prendan fuego, se encuentran dos razones que justifican dicha diferencia: la primera hace referencia a las propiedades físicas de los combustibles, pues algunos estudiantes aluden a características como el olor y estado en el que se presentan. Si bien, el estado de la sustancia combustible es un factor que tiene influencia en la manifestación del proceso de combustión, no es suficiente para distinguir entre un material que se quema y otro que no. La segunda, refiere a propiedades químicas, siendo esta razón la aceptada en la mayoría de los estudiantes; ellos piensan que los combustibles son o contienen la misma composición química (básicamente carbono e hidrógeno), al expresar que “todos los materiales que arden tienen las mismas sustancias”.

Resulta importante en la enseñanza plantear experiencias con distintos materiales combustibles en diversidad de composición y estados (sólidos, líquidos, gases), para

ampliar la base de experiencias de los estudiantes de manera que identifiquen la combustión como un proceso que está presente en numerosos fenómenos tanto cotidianos como industriales.

Una situación que aporta a la construcción de explicaciones en la quema de materiales es el caso de una vela encendida que luego se tapa con un recipiente invertido (vaso) sobre ella. Se identifica usualmente en las explicaciones a este fenómeno la importancia de la presencia de aire (el oxígeno) para dar cuenta de por qué se apaga la vela al ser tapada con el vaso invertido: “porque al encerrar la vela el oxígeno disminuye y se apaga”. Surge la cuestión de explorar en los estudiantes el papel del oxígeno en la quema de los cuerpos, es decir, si consideran el oxígeno como la sustancia activa del aire en los procesos de combustión. Para lo cual la siguiente situación hipotética resulta relevante:

*Cuatro recipientes con distintos gases en cantidades similares, en uno aire, en otro dióxido de carbono, en el tercero oxígeno puro y un cuarto con nitrógeno. Si se coloca una vela encendida en cada uno de los recipientes, ¿en cuál permanecería por más tiempo encendida la vela?*

Se trata entonces de abordar cuestiones como ¿la combustión se presenta en todo tipo de gases? y ¿cuál es el papel que desempeña el aire en la quema de los materiales? Respecto a la primera cuestión, se analiza el comportamiento ante el fuego de distintas sustancias como, por ejemplo, los gases constituyentes del aire: oxígeno, nitrógeno y dióxido de carbono. La actividad consiste en colocar una vela encendida en el fondo de un recipiente y exponer la llama a los tres gases, se indagaría sobre qué sucede con la llama (si se apaga o permanece encendida). Los gases ( $O_2$ ,  $N_2$ ,  $CO_2$ ) para realizar la prueba son de fácil obtención: el dióxido de carbono se produce de la reacción entre el bicarbonato de soda y el vinagre o limón, pueden usarse pequeñas porciones; el nitrógeno gaseoso se puede obtener a partir de someter al calor el nitrito amónico o el dicromato de amonio, y el oxígeno se obtiene de agregar bicarbonato de soda al agua oxigenada (la usada para decolorar los cabellos desprende más oxígeno que el agua oxigenada común).

Un caso particular se presenta en el funcionamiento de los quemadores de uso doméstico: la estufa de gas o la parrilla de carbón. Allí es posible identificar preguntas que permitan evidenciar los procesos de combustión en cuanto a la relación combustible/comburente y el papel que cumple el aire. Respecto a la parrilla de carbón, algunas de las cuestiones que se podrían formular son: ¿por qué es necesario ventilar la quema del carbón?, ¿por qué hay que controlar la entrada y salida del aire?, ¿qué hacer para que el quemador sea eficiente térmicamente (que “rinda” el carbón)?

## – Productos de la combustión

La importancia de este núcleo de actividades es identificar los productos de la combustión con diferentes materiales orgánicos e inorgánicos, así como en sus diferentes estados sólidos, líquidos y gaseosos. Preguntas orientadoras de este proceso pueden ser:

*Al quemar un trozo de cinta de magnesio, una cerilla encendida, un pedazo de papel, un trozo de madera, ¿qué sustancias se forman en estos casos?, ¿son las mismas sustancias?*

Respecto a la quema de la cerilla y el magnesio los estudiantes suelen dar cuenta de la formación de nuevas sustancias basados en la observación de los cambios de algunas propiedades físicas manifestados por dichos materiales, principalmente, en el cambio de color, olor y textura aparente.

Sobre los productos de la combustión, en la quema de la cerilla, los estudiantes manifiestan estar de acuerdo que la madera, luego de someterse al calor, genera diversas sustancias entre las que se tienen carbón, ceniza, gas carbónico. En relación a la quema del fósforo (cerilla) y la cinta de magnesio expresan que los productos de la quema del fósforo coinciden con los obtenidos en la quema de la madera. Para dar cuenta del cambio, entienden la formación de nuevas sustancias sin relación a las sustancias que participan originalmente en el proceso, lo cual coincide con las explicaciones planteadas por los alquimistas en el siglo XVII que basaban sus teorías en la conversión de los metales. Por ejemplo, es usual encontrar respuestas para las que, en la quema de la cerilla, el fósforo se transforma “carbón”, “humo” o “pólvora blanca”.

Para el caso de la quema del magnesio se identifican explicaciones en las que no se concibe la transformación de la sustancia: “es la misma sustancia pero ya quemada”. La llama es el agente del cambio, aunque no se contempla la interacción del combustible y el oxígeno del aire, asignan a este el papel de alimento de la llama (Prieto, 1992). Los productos de combustión de la quema de materiales sólidos generaran sustancias igualmente en estado sólido pero de diversa naturaleza química, que no guardan relación necesariamente con la composición del combustible, esto se muestra claramente en la formación de compuestos de carbono (orgánico) a partir de la quema del fósforo (inorgánico). Otros encuentran que los cambios del combustible, luego de ser quemado, no manifiestan transformación sustancial, es decir cambio de tipo físico pero no químico.

*¿Qué pasa con la quema de combustibles sólidos de naturaleza química diversa?, Al colocar una pequeña cantidad de alcohol en un vidrio de reloj y encenderlo con un fósforo, ¿qué sucede con el alcohol?*

Según Andersson (1990) los distintos modelos de transformación de la materia (cambio químico) constituyen esquemas explicativos que los estudiantes utilizan para dar cuenta de los cambios en las sustancias, algunos de los modelos usados por los estudiantes para explicar la quema del alcohol son el modelo de desaparición de productos, modificación y desplazamiento de materia. Explican por ejemplo “porque al entrar en contacto con el calor el alcohol se evapora disminuyendo su peso y masa también, el alcohol se va acabando y el fuego se apaga”, “se somete al calor y este (el alcohol) tiene sustancias que al hacer contacto con el fuego este forma una llama ocasionando la evaporación”. Evidentemente, es un cambio de estado de la materia vinculado con la evaporación, pero favorecida por el calor, ya que el alcohol, luego de hacer combustión, pasa a estado gaseoso; por ende, se podría recuperar el alcohol a partir de los gases obtenidos (modelo de modificación).

Desde el modelo explicativo de desplazamiento de materia los estudiantes consideran que los componentes del reaccionante desaparecen del material original y aparecen en otro lugar. Los materiales producto, aunque no se vean, deben estar de alguna manera contenidos en los materiales de partida (Driver, 1986). Pocos estudiantes explican que al quemarse el alcohol se obtienen sustancias tales como agua; para que se obtenga sustancias como el agua en la combustión del alcohol esta debe estar contenida en los componentes del alcohol, aunque no fuera posible verlo. Respecto al agua como producto de combustión, resulta difícil asumir que se produce en los procesos de combustión orgánica, al igual que en las interpretaciones históricas dadas al respecto.

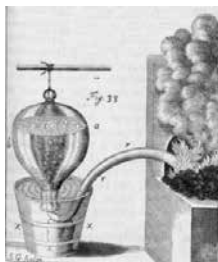
*¿Qué diferencia una sustancia orgánica de una inorgánica?* Con ello se pretende analizar algunas características que permiten diferenciar entre sustancias orgánicas e inorgánicas aplicadas en los casos de quema de materiales de distinto origen, para identificar algunos combustibles y productos de combustión. Se podría iniciar con su caracterización teniendo en cuenta el estado en el que se presentan (los orgánicos se encuentran en diversos estados como sólido, líquido y gases, mientras que los inorgánicos son generalmente sólidos), la velocidad de reacción (los orgánicos se queman lentamente, los inorgánicos rápidamente), la volatilidad (los orgánicos son volátiles, los inorgánicos no), la solubilidad en agua (los orgánicos son insolubles, los inorgánicos solubles) e incluso la estabilidad frente al calor (los orgánicos son muy poco estables, la mayoría arden en llama, los inorgánicos, dada su estabilidad, por lo general no arden, con excepción de pocos casos como el fósforo y el magnesio, entre otros).

*Un pequeño trozo de magnesio (o de esponjilla de brillo) se coloca en un plato de una balanza. La balanza se equilibra con pesas en el otro plato. ¿Qué sucederá cuando se hace arder la esponjilla o magnesio?*

Los estudiantes basados en sus experiencias con la quema de un cuerpo orgánico (papel) predicen con éxito que el peso obtenido luego de la quema del papel es menor que el peso inicial. Ahora se propone a los estudiantes una situación hipotética, la quema de un metal (esponjilla o magnesio) y se les plantea la misma interrogante respecto al peso final esperado. Los estudiantes predicen que el peso final de los productos luego de la calcinación del metal es menor, al igual, que en la quema del material orgánico. Seguido, se realiza la experiencia de la quema del metal y se observa un resultado diferente, el peso es mayor, esto puede ocasionar situación de sorpresa, insatisfacción e incertidumbre al observar un resultado distinto al esperado. Se busca con ello generar conflicto en el estudiante, para ello, se les cuestiona sobre el *¿por qué el aumento de peso?* y *¿de dónde viene el peso adicional?*, esta experiencia permite cuestionar ideas intuitivas respecto al origen del peso extra obtenido, dado que a los estudiantes se les dificulta reconocer la sustancia activa en la combustión, el oxígeno, el cual al interactuar con el combustible (metal) se obtiene una nueva sustancia de mayor peso.

En el análisis histórico se encuentra que con la cuba se soluciona el problema de recoger los gases que se obtienen en las reacciones químicas. Hales extraía “aires” de todo tipo de sustancias animales, vegetales o minerales, lo cual permitió profundizar sobre la naturaleza y modo en que los gases podían asociarse a los cuerpos. Al término de cada procedimiento Hales había recogido diferentes tipos de gases, que de esta manera podían medirse y analizarse (fig. 1).

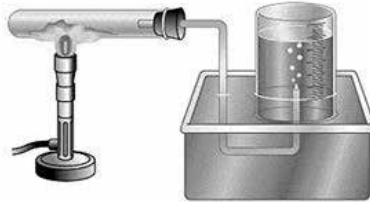
Figura 1.



A pesar de que los estudiantes conciben el gas como algo sustancial, lo conciben con muy poca materialidad, la dificultad se encuentra en distinguir aquellos estados de la materia que sean de escasa percepción, es decir, los gases no se ven, no se tocan y apenas tienen masa o peso. El plantear la pregunta *¿cómo se podrían recoger los gases en el laboratorio?*, suscita la posibilidad de que los mismos sean obtenidos y puedan ser examinados, al igual que evidenciar su materialidad. Actualmente, se pueden realizar distintos tipos de montajes experimentales para la recolección de gases en el laboratorio (fig. 2).



Figura 2. Recolección de un gas en agua.



*¿Por qué no se perciben ciertos productos de combustión?* El reconocimiento de la existencia de las sustancias y su diferenciación puede establecerse a partir de sus propiedades físicas y químicas. Algunas de las propiedades físicas que frecuentemente acudimos para identificar una sustancia son su color, olor, textura, estado, entre otros. Sin embargo, existe un gran número de sustancias en las que dichas características no son suficientes; es el caso del nitrógeno, del dióxido de carbono y del vapor de agua, como algunos de los productos de combustión. Es así como es significativo examinar dichas sustancias para identificar que dadas sus propiedades, estas son difíciles de ser reconocidas en el proceso de combustión, puesto que se obtienen en estado gaseoso a temperatura ambiente, son incoloros, inodoros, no inflamables y poco reactivos.

### *Condiciones de la combustión*

Este núcleo de actividades centra la atención en torno al comportamiento del fenómeno y se establecen los requerimientos para que se lleve a cabo.

Los procesos de la combustión suelen tener lugar bajo ciertas condiciones. Algunas de las que se proponen estudiar con los estudiantes son las relacionadas con la cantidad de las sustancias iniciales, la temperatura y el estado del combustible.

#### **– La cantidad de las sustancias iniciales (combustibles y oxidantes)**

Para que se produzca la reacción de combustión, se requiere de una proporción de combustible y de oxidante; por tanto, los productos de combustión que se obtengan dependen de la cantidad de combustible y aire (oxígeno) existentes. En adelante se expondrá cada caso.

## La cantidad de combustible

En cuanto a la cantidad de combustible, si este se quema hasta el máximo posible de oxidación, no se encontrarán sustancias combustibles en los productos (combustión completa), siendo los que generalmente se encuentran el  $N_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$  y  $SO_2$ . Cuando el combustible es un hidrocarburo, los productos de la combustión en aire se conocen como humos.

Por el contrario, si el combustible no se oxida completamente, se forman sustancias como  $H_2$ ,  $C_nH_m$ ,  $H_2S$  y  $C$  (combustión incompleta) debido a que no hay oxígeno necesario para que se produzca la oxidación total del carbono. Esto quiere decir que no todo el carbono se va a transformar en  $CO_2$  y aparecerá como producto de combustión de  $CO$ . Aparecen entonces los inquemados, estos también se pueden producir por defecto en el aparato quemador. Los inquemados se definen como la materia combustible que ha quedado sin quemar o parcialmente quemada; pueden ser de dos clases: *sólidos* como el carbono (hollín) que provocan un ennegrecimiento de los humos de combustión y *gaseosos* como el  $CO$  e  $H_2$ .

*Al encender un trozo de papel, luego de un tiempo, este se quema totalmente y el fuego se apaga. El fuego se apagó porque...*

Respecto a las condiciones en que se presenta el fenómeno, la gran mayoría de los estudiantes reconocen que la cantidad de las sustancias iniciales de la reacción (combustible y oxidante) son determinantes para que esta se lleve a cabo. Esto se evidencia en las respuestas que dan al indagarse sobre por qué se apaga el fuego en la quema de un trozo de papel, en las que la mayoría de los estudiantes afirman que la razón fundamental es por el consumo total del combustible (papel).

*Luego de someter a fuego directo un tronco o raíces gruesas y pasto o lianas, ¿cuáles materiales combustibles encienden más rápido? ¿Por qué?*

Esta actividad pretende distinguir entre los combustibles livianos (por ejemplo, pastos y lianas) y pesados (troncos y raíces gruesas), dicha clasificación se hace de acuerdo con el tamaño del material. Su comportamiento frente al fuego es distinto, así: los combustibles livianos se distinguen de los pesados en tanto que los primeros pierden humedad y absorben calor más fácilmente que los segundos, los combustibles livianos tienen baja intensidad calórica mientras que los pesados necesitan mayor tiempo de precalentamiento y por tanto alta intensidad calórica. Luego de encendidos, los

livianos presentan una rápida velocidad de propagación, ardiendo completamente; por el contrario, los pesados son de combustión lenta.

### La cantidad de oxidante (oxígeno)

Si la cantidad de oxígeno es estrictamente la necesaria para producir la oxidación de todo el combustible y para que la reacción tenga lugar totalmente, en los productos de la combustión no habrá H, O, S y C, que se transformarán en productos correspondientes que irán en los *gases de combustión*. Como inerte aparecerá, por lo menos, el nitrógeno (combustión teórica o estequiométrica).

En la práctica se hace difícil conseguir la combustión completa. Por ello es necesario aportar un exceso de aire. El *exceso de aire* se define como la cantidad de aire por encima del teórico que hay que aportar para que se realice la combustión completa del combustible. En caso tal que el oxígeno disponible sea menor que el necesario, se producirán sustancias que pueden seguir oxidándose, como el monóxido de carbono (combustión con defecto de aire). Si por el contrario, la combustión se lleva a cabo con una presencia del gas (oxígeno) superior de la necesaria, se presentará oxígeno en los productos y generará pérdida de calor en los mismos, reduciendo la temperatura de combustión, la eficiencia y la longitud de llama (combustión con exceso de aire).

*Comparar la llama generada en el mechero de alcohol y el mechero bunsen.* La manera de determinar si la combustión es pobre o rica en oxígeno es la forma de la llama, para este caso, la llama de un mechero de alcohol tiene forma vacilante, es de color rojizo (menor temperatura) y menos intensa porque contiene gran cantidad de partículas de hollín (partículas de carbono que no se quemaron y no pasaron a gas en forma de CO y CO<sub>2</sub>) y produce humos que manchan. Mientras que la llama en una combustión rica en oxígeno tiene forma de dardo es más azulada y luminosa como se presenta en el mechero de bunsen.

*En la quema de un cigarrillo y de una hoja de papel, ¿cuál se quema primero?* De acuerdo a la velocidad de propagación del fuego en la combustión se identifica como *lenta* cuando se producen con emisión de luz y poca emisión de calor por falta de oxígeno (quema del cigarrillo y del carbón); *normal* cuando se produce con emisión de luz y calor bien perceptibles (quema de madera y papel); *rápida o deflagración* cuando la velocidad de propagación es menor que la del sonido (inflamación de combustibles derramados);

*muy rápida o explosión* cuando la velocidad de propagación es mayor que la del sonido (acumulación de gases inflamables en un lugar cerrado).

### – La temperatura de ignición

Para que una reacción de combustión se manifieste, no es suficiente poner simplemente en contacto el combustible y el comburente; es condición indispensable que aumente el nivel de energía del sistema ya que no se produce de forma espontánea, pues requiere de una energía de iniciación para que la reacción dé comienzo. El combustible alcanza su temperatura de ignición<sup>25</sup> y se desencadena un aumento en la actividad de las partículas de la estructura química de la sustancia, el calor producido se mantendrá por encima de la de ignición debido al carácter exotérmico de estas reacciones; el calor generado se transmite a las otras partes del mismo combustible propagándose en todas direcciones. La reacción continuará hasta que se agote el combustible o el comburente.

*Arder en llamas una cerilla, un encendedor de bolsillo y un trozo de papel (en ese orden). Describe el procedimiento en cada caso.* Para hacer arder en llamas la cerilla lo usual es frotar la cabeza de la cerilla (fósforo) contra una superficie rugosa. Esta acción se vuelve relevante para cuestionar ¿por qué hay que frotar la cerilla sobre una superficie? Algunas explicaciones suelen ser: “porque los componentes de la cerilla necesitan de fricción para poder prender”, “para que se caliente y se produzca el encendido”, “porque se necesita fricción para que los componentes de la cabeza del fósforo produzcan llama”.

De la experiencia se puede establecer que es una condición necesaria suministrar “energía” para que se inicie la combustión en la quema de los materiales y que dicha energía (calórica) necesaria para la elevación de la temperatura del sistema combustible/comburente es suministrada ya sea por fricción, chispa, calentamiento o por el suministro de fuego directo sobre la sustancia combustible.

Podría luego abordarse la explicación de eventos cotidianos como, por ejemplo, *¿por qué en la combustión de sólidos y líquidos, al soplar un poco se aviva la llama pero al soplar mucho se puede apagar?, ¿por qué el agua apaga el fuego en la quema de madera y papel?,*

---

25 Una sustancia solo empieza a arder cuando se calienta a una determinada temperatura a la cual, una vez iniciada la llama, esta ya no se extingue, esta recibe el nombre de temperatura de ignición o punto de inflamación. Es la *temperatura* mínima necesaria para que los vapores generados por un combustible comiencen a arder.

*¿cómo se explica la autoinflamación de algunos materiales que se almacenan en grandes cantidades?, entre otras preguntas.*

### – El estado del combustible

En las reacciones de combustión donde participan hidrocarburos se pueden distinguir tres fases: la primera es la fase de prerreacción; la segunda, la fase de oxidación; y la tercera, fase de terminación.

La fase de prerreacción se caracteriza porque las sustancias combustibles se descomponen dando lugar a sustancias intermedias inestables y muy activas para que, de esta forma, el carbono y el hidrógeno puedan reaccionar con el oxígeno. En la fase de oxidación se produce la interacción entre el carbono y el oxígeno. Se caracteriza por presentarse gran liberación de energía en forma de calor y luz. Se tiene la propagación de la llama en la que los componentes del combustible y el oxidante se encuentran en estado gaseoso, lo cual favorece la interacción entre los mismos. La fase de terminación es cuando se forman los productos de combustión (óxidos de carbono y vapor de agua). Es en este sentido que el estado del combustible constituye una condición que influye en la primera fase de la combustión.

*En la quema de combustibles en diverso estado (sólido, líquido, gas), identificar cómo es el comportamiento de las sustancias. En este tipo de experiencias se propone evidenciar comportamientos diversos en los combustibles de acuerdo al estado en el que se presentan. Para que haya combustión es necesario que el combustible sea gaseoso; en sólidos y líquidos por influencia del calor expiden gases debido a las altas temperaturas que vaporizan el combustible. Sin embargo, existen excepciones, como en el caso de la quema de metales como el magnesio, donde el proceso de combustión se presenta rápidamente ya que tiene lugar en los átomos superficiales del sólido.*

*En la quema de la madera, compara la velocidad de quemado (rápida o lenta) y la inflamabilidad de las partículas de combustible en el polvo de lijar, aserrín, tabla y tronco. En esta actividad se busca comprender que existe una relación inversa entre la relación coeficiente de superficie/masa y la energía necesaria para la ignición. En los combustibles sólidos y líquidos, muchas sustancias que arden con dificultad pueden quemarse si el oxígeno y el calor llegan a todas sus partes, pues estas ofrecen al oxígeno una gran superficie de contacto.*

## Conclusión

Algunas de las consideraciones que podrían resultar de utilidad a la hora de planear la selección de actividades pueden ser:

Incluir el acercamiento a eventos o situaciones de la vida cotidiana que representen el fenómeno vinculado con el concepto y plantear interrogantes que puedan ser abordados en el aula-laboratorio, en los que el estudiante sea partícipe.

Elaborar preguntas centrales que formen parte del contexto problemático en el que se ubica el proceso de construcción del fenómeno y que propicien el análisis con miras a que se reconozcan las explicaciones, proponer actividades para superar que permitan mostrar las ideas del estudiante y promover el conflicto conceptual.

Reconocer que los estudiantes elaboran sus propias explicaciones a los fenómenos, por tanto, ofrecer experiencias para que los estudiantes exterioricen sus concepciones.

Los estudiantes logran mayor comprensión del concepto a través de la construcción de una serie de explicaciones que poco a poco evolucionan, cuya transición progresiva debe motivarse con el cuestionamiento de las ideas iniciales mediante la utilización didáctica de diversas actividades de distinto tipo, que brinden evidencias a nivel macroscópico y que sirvan de base para que intenten explicaciones a nivel microscópico. Aunque es bien sabido que la modificación de dichas ideas no se logra solo con un cúmulo de “pruebas” empíricas, sí pueden constituir una plataforma para que los estudiantes se enfrenten al fenómeno y tengan la oportunidad de explorarlo, de plantearse interrogantes y en las que se promuevan discusiones sobre sus distintos significados.

Finalmente es posible entonces reorientar el papel que se le está dando a la experimentación y considerar la riqueza conceptual que allí se esconde. Saber ciencias no es solamente saber de leyes y teorías, incluye también el saber experimental, que nos invita a darle importancia tanto al diseño y construcción de experimentos cualitativos y cuantitativos (cuya riqueza está en llenar de sentido un conocimiento), como al diseño y elaboración de aparatos e instrumentos. Por tanto, es fundamental que la enseñanza refleje la importancia de los experimentos, su relación no subsidiaria de la teoría y, en último término, contribuya al equilibrio y complementariedad entre teoría y práctica (García & Estany, 2010).

## Bibliografía

- Andersson, B. R. (1990). Pupils conceptions of matter and its transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, 18, 53-85.
- Artigas, M. (1989). *Filosofía de la ciencia experimental*. Pamplona: Ediciones Universidad de Navarra.
- Ayala, M. M., Malagón, F. & Guerrero, G. (2004). La enseñanza de las ciencias desde una perspectiva cultural. *Revista Física y Cultura*, 7, 79-91.
- Driver, R. (1986). Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (1), 3-15.
- Duit, R. (2006). La investigación sobre la enseñanza de las ciencias: un requisito imprescindible para mejorar la práctica educativa. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 11 (30), 741-770.
- Duschl, R. (1997). *Renovar la enseñanza de las ciencias. Importancia de las teorías y su desarrollo*. Madrid: Narcea.
- Estany, A. (2007). Innovación tecnológica y tradiciones experimentales. Una perspectiva cognitiva. *Revista Ciencias*, 088, 34-45.
- Galison, P. (1987). *How experiments end*. Chicago: University of Chicago Press.
- García, E. (2009). *Historia de las ciencias en textos para la enseñanza. Neumática e hidrostática*. Cali: Editorial Universidad del Valle.
- García, E. & Estany, A. (2010). Filosofía de las prácticas experimentales y enseñanza de las ciencias. *Revista Praxis Filosófica*, 31, 7-24.
- Gooding, D. (1990). *Experiment and the Making of Meaning. Science and philosophy*. Ámsterdam: Kluwer Academic Publishers.
- Guidoni, P., Arca M. & Mazzoli, P. (1990). *Enseñar ciencia. Como empezar: reflexiones para una educación científica de base*. Barcelona: Paidós.
- Hacking, I. (1983). *Representing and Intervening: Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*. Cambridge, Cambridge University Press; v. e. *Representar e Intervenir*, Trad. Sergio F. Martínez, 1996. México: Instituto de Investigaciones Filosóficas - UNAM / Paidós.
- Hilborn, R. (1988). Redesigning collage and university level; introductory physics. *American Journal of Physics*, 56 (1), 14-17.
- Hutchins, E. (1995). *Cognition in the wild*. Massachusetts: The MIT Press.
- Iglesias, M. (2004). El giro hacia la práctica en filosofía de la ciencia: una nueva perspectiva de la actividad experimental. *Revista de Ciencias Humanas y Sociales*, 20 (44), 98-119.

- Izquierdo, M. (1988). La contribución de la teoría del flogisto a la estructuración actual de la ciencia química. Implicaciones didácticas. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (1), 67-74.
- Izquierdo, M. (2008). La organización y la secuenciación de los contenidos para su enseñanza. En *Áreas y estrategias de investigación en las ciencias experimentales*, Vol. 1. Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona.
- Kuhn, T. (1962). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Marín, M. (2008). *El trabajo experimental en la enseñanza de la química en contexto de resolución de problemas en el laboratorio. Un caso particular la combustión*. Tesis de maestría, Universidad del Valle, Cali.
- Ordóñez, J. & Ferreiros, J. (2002). Presentación: Hacia una filosofía de la experimentación. *Revista Theoria*, 17 (44), 209-219.
- Piaget, J. (1975). *La formación del símbolo en el niño*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Pickering, A. (1992). *Science as practice and culture*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Popper, K. R. (1935). *La lógica de la investigación científica*. Trad. Víctor Sánchez de Zavala, 1962. Madrid: Tecnos.
- Pozo, J. I. & Gómez Crespo, M. A. (1998). *Aprender y enseñar ciencias*. Madrid: Morata.
- Prieto, C. (1992). Pupils' understanding of combustion. *Research in Science Education*, 22, 331-340.
- Pro, A. & Saura, O. (2001). Nuevos tiempos, nuevos contenidos. *Revista Alambique*, 29, 53-62.
- Reigosa, C. & Jiménez Aleixandre, M. (2000). La cultura científica en la resolución de problemas en el laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 18 (2), 275-284.
- Saltiel, E. & Viennot, L. (1985). ¿Qué aprendemos de las semejanzas entre las ideas históricas y el razonamiento espontáneo de los estudiantes? *Enseñanza de las Ciencias*, 3 (2), 137-144.
- Steinle, F. (2002). Challenging established concept ampere and exploratory experimentation. *Revista Theoria*, 17 (44), 291-316.
- Viennot, L. (2002). *Razonar en Física: la contribución del sentido común*. Madrid: Antonio Machado Libros.
- Woolnough, B. E. & Allsop, T. (1985). *Practical work in science*. Cambridge: CUP.



# Capítulo 4.

## La actividad experimental:

### **construcción de fenomenologías y procesos de formalización**

José Francisco Malagón Sánchez<sup>26</sup>

María Mercedes Ayala Manrique<sup>27</sup>

Sandra Sandoval Osorio<sup>28</sup>

### **Introducción**

Los profesores de ciencias, en general, consideran que el experimento es una herramienta o una actividad fundamental en la enseñanza de las ciencias, esto no se pone en duda. Sin embargo las concepciones o perspectivas desde las cuales se usa son diversas. A pesar de la diferencia que se suele reconocer entre los procesos de conocimiento en la ciencia en el transcurso de su historia y aquellos que se dan en el ámbito escolar, el papel asignado a la práctica experimental en el aula depende en gran medida de la forma como son entendidos los rasgos y el rol de la actividad experimental en el devenir del conocimiento científico, y pone de presente la importancia que tiene la reflexión epistemológica en la orientación del quehacer pedagógico en la educación en ciencias.

En el presente artículo se ilustra mediante un estudio de caso la relación filosofía-educación en ciencias. En primer lugar se expone la perspectiva que se ha elaborado, para lo cual resulta importante precisar lo que se entiende por expresiones como *fenómeno* y *fenomenología*, así como *experimento*, *experiencia* y *experimentación*, principalmente con la intención de señalar cómo estos presupuestos permiten nuevas formas de actuar, nuevas formas de pensar y nuevas formas de hacer en el aula. Se

---

26 Grupo Física y Cultura, Universidad Pedagógica Nacional. jmalagon@pedagogica.edu.co

27 Grupo Física y Cultura, Universidad Pedagógica Nacional. ayalam49@gmail.com

28 Grupo Física y Cultura, Universidad Pedagógica Nacional. ssandoval@pedagogica.edu.co

presenta la actividad experimental, en términos generales, como un espacio donde se establece una relación íntima y dinámica entre la construcción de fenomenologías y el desarrollo de procesos de formalización. En la última parte, se analiza cómo ello se concreta en un caso particular: el estudio de las cualidades de acidez y basicidad de las sustancias y la formulación del pH.

## Perspectiva fenomenológica

Al abordar la cuestión del experimento en la enseñanza de las ciencias nos hemos visto obligados a acudir a una serie de reflexiones epistemológicas y filosóficas, entre las cuales hemos afianzado nuestro compromiso con una perspectiva fenomenológica. Aunque no abarcaremos en toda su extensión estas cuestiones, queremos hacer algunas precisiones sobre tres puntos importantes que permiten explicitar desde qué lugar situamos nuestras referencias a lo fenomenológico y cómo ello ha sido pertinente para nuestras propuestas en el campo de la educación científica.

- a. Empezaremos señalando que el fenómeno es lo que aparece frente a una conciencia. Como afirma Husserl, la conciencia existe en la medida en que es conciencia de algo y, por lo tanto, desde ese punto de vista el fenómeno no es en sí mismo, no existe en sí mismo, ni tampoco la conciencia existe en sí misma, hay una relación de doble vía. Como se plantea en la fenomenología de Husserl y Heidegger, el fenómeno requiere alguien ante quien aparecer, pero no oculta un ser verdadero de carácter absoluto. En nuestro caso podemos asumir que una conciencia es una persona, estudiante o profesor, que tiene una estructura mental, una historia social, psicológica, personal, que hace que esta interprete, piense, entienda o actúe de una cierta manera y con ello construya un campo fenomenológico.

En este orden de ideas es necesario destacar el carácter exhibitivo y constructivo del fenómeno. Las descripciones e interpretaciones que demanda la comprensión de una fenomenología exigen la organización de una serie de experiencias y observaciones intencionadas, esto es, una descripción detallada del fenómeno, la cual está imbricada en la actividad experimental que exige una comprensión conceptual que acompañe a la intervención y disposición experimental.

- b. El segundo punto es que el fenómeno se presenta tal como es, no hay una realidad profunda detrás del fenómeno, el fenómeno no esconde nada detrás de sí: “El fenómeno es lo que parece según lo que aparece” (poema fenomenológico de Parménides). De esta manera, las explicaciones que se construyan no requieren de entes metafísicos o de entidades ocultas más allá de

lo que se ve. Por ende, el fenómeno no oculta nada. Lo que se llama fenómeno no se presenta enmascarado por las cualidades porque no es posible apartar las cualidades para encontrar detrás de ellas la esencia última de los objetos, de lo que se puede dar cuenta es de un conjunto organizado de cualidades.

Como consecuencia de esto, las explicaciones sobre lo que ocurre, solo se pueden dar en términos de una organización de lo que se percibe. Para algunos pensadores este tipo de elaboraciones son consideradas como meramente descriptivas y con poco carácter explicativo. Aquí no se comparte tal punto de vista por cuanto no se considera que la explicación deba estar dada en términos de las causas últimas del fenómeno o de las esencias abstractas del mismo.

- c. Un tercer punto es que el fenómeno no es estático, por el mismo hecho de ser algo que se aparece ante una conciencia. Entonces, si la conciencia cambia, el fenómeno cambia; a medida que se van haciendo organizaciones del fenómeno, este cambia. Cuando un cuerpo cae, alguien podría ver ecuaciones de movimiento o de energía, mientras que alguien que sea relativista estaría viendo otro tipo de relaciones en el espacio, deformaciones del mismo, etc. Estaría viendo un fenómeno diferente.

Eso implica que no siempre se está ante un mismo fenómeno, el fenómeno cambia, se transforma y va evolucionando a medida que se van haciendo organizaciones distintas. Con ello se hace necesario reiterar la íntima relación entre los modos de hacer y de hablar que se pone de presente en este camino de la experiencia.

Estos tres puntos<sup>29</sup> implican que solo se pueden hacer organizaciones de lo que el fenómeno muestre. Todas las explicaciones, todo lo que se hace alrededor del fenómeno, estaría en relación con lo que este muestre. Por ejemplo, cuando se prende un interruptor o se conecta un cable eléctrico, se pueden observar efectos de un bombillo que ilumina, un radio que produce sonidos, un motor que gira, entre otros. Estos efectos, en primera instancia, no requieren ser organizados desde modelos relacionados con la estructura molecular de los materiales y menos aun ser reducidos a un chorro de partículas negativas. En vez de ello se puede trabajar en la organización de efectos sensibles tales como el calentamiento de los alambres, la intensidad de iluminación, la producción de cambios químicos que puede generar la corriente eléctrica.

Aunque se ha dejado por un momento las implicaciones ontológicas y epistemológicas que son objeto de discusión en el campo de la filosofía, los elementos que se resaltan

---

29 Una discusión inicial de esta perspectiva fenomenológica se encuentra en Sandoval (2008).

tienen fuertes implicaciones para la enseñanza de las ciencias y para la formulación de propuestas y actividades donde los estudiantes y los profesores están comprometidos con la comprensión de los fenómenos que estudian<sup>30</sup>. Es así como resulta contradictorio centrar los esfuerzos en llegar a explicaciones en términos de entes metafísicos, que no son producto de la organización que los sujetos puedan hacer del fenómeno o partir de ellas para construir maneras de explicar los fenómenos.

## El papel del experimento en la enseñanza de las ciencias desde una perspectiva fenomenológica

Si bien en los diversos textos científicos, históricos, filosóficos y de enseñanza de las ciencias que circulan en el ámbito académico se encuentra una serie de reflexiones acerca de los distintos roles que tiene la actividad experimental en la ciencia y en las clases de ciencias, este grupo de investigación ha considerado que la práctica experimental tiene que ver principalmente con la construcción y comprensión de las fenomenologías en estudio, y con ello con la ampliación y organización de la experiencia de los sujetos, así como con la formalización de relaciones y con la concreción de supuestos conceptuales (Malagón *et ál.*, 2011: 7). Por ende, se considera que, desde el punto de vista pedagógico, la actividad experimental es poco relevante cuando se la reduce a la verificación de relaciones conceptuales construidas en el campo de la ciencia, especialmente si se tiene en cuenta su contribución a las búsquedas y posibilidades de comprensión de los estudiantes.

En esta ocasión se resalta *la actividad experimental vinculada a la construcción de magnitudes y de formas de medida para la conformación de fenomenologías* en el contexto de esa íntima relación que se da entre la construcción de fenomenologías y el desarrollo de procesos de formalización, por cuanto se considera particularmente relevante para la enseñanza de las ciencias. Esta ruta ha aportado elementos conceptuales que afianzan el interés del grupo por vincular la comprensión a la ampliación y organización de la experiencia de los sujetos.

---

30 A este respecto ha resultado muy interesante el trabajo de tesis de Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales desarrollado por los profesores Iván Darío Flórez y Ana Lilia Gómez (2012) titulado “Construcción de explicaciones desde la experiencia”, en el cual se pone en juego un proceso investigativo en relación con las implicaciones de promover la construcción de explicaciones en alumnos de educación básica secundaria a partir de su experiencia y organización de una clase de fenómenos: el fenómeno del *ver*. Universidad Pedagógica Nacional, Departamento de Física, Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales.

Ahora bien, ¿qué procesos de organización de la experiencia se generan en la construcción de magnitudes y formas de medida?, ¿qué es lo que se busca con la actividad experimental?, son preguntas que surgen y que se pretende responder en este escrito. La construcción y comprensión de fenomenologías, la ampliación de la experiencia, la construcción de formas de hablar del fenómeno y la concreción de supuestos conceptuales son, pues, algunos roles que ameritan ser destacados y sobre los cuales se ha venido desarrollando la propuesta. Al respecto es pertinente tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- a. *La construcción y comprensión de fenomenologías.* En algunos casos se puede partir de la experiencia sensible que los sujetos han organizado desde su relación con el mundo que los rodea pero en otros casos se debe incluso construir esta experiencia sensible. En el caso de los fenómenos térmicos, por ejemplo, fijar algún punto de inicio en el que se hagan explícitos los modos de hablar de frío o caliente y las organizaciones que se han construido desde la relación de los sujetos con el mundo, ubica el campo fenomenológico de estudio, pero además las sucesivas acciones procuran dar cuenta de los efectos que se organizan, de las relaciones que se establecen o de las variables que se consideran, esto es, se construye un campo fenomenológico.

Ahora, en el caso de los fenómenos magnéticos, por ejemplo, la experiencia que normalmente se tiene se reduce a efectos de atracción o repulsión de materiales imantados. Por lo tanto es necesario iniciar por construir un conjunto de efectos desde los cuales se pueda caracterizar lo magnético. En este punto la actividad experimental juega un papel importante en la construcción o explicitación de la experiencia sensible que los vincule con la construcción de la fenomenología de estudio.

- b. *La ampliación de la experiencia.* Por ejemplo, en el problema del electromagnetismo inicialmente no se tiene una experiencia sensible apreciable que permita tener un fenómeno en el sentido de algo que se aparezca ante la conciencia y de lo cual se pueda empezar a hablar. La actividad experimental resulta útil para construir el campo de efectos, relaciones y lenguajes en las cuales se puede ubicar la discusión.
- c. *La construcción de formas de hablar del fenómeno.* Un aspecto importante del proceso de construcción de un fenómeno o fenomenología, es que a su vez que el ámbito de la experiencia se transforma también se transforma el ámbito del lenguaje con el que es posible referirse a esa experiencia. Se hace necesario, por ejemplo, construir descripciones en donde se discriminen factores o efectos que han adquirido importancia, comparaciones en las que se establezcan un criterio de orden o de agrupación y relaciones entre los distintos criterios bajo las cuales se realizan las

anteriores procesos mentales. Estos procesos son tipos de formalización en un sentido amplio que no implica la sola determinación de relaciones algebraicas o expresiones matemáticas en general. Aquí, por formalización se entiende también la construcción de palabras, signos, dibujos, procedimientos, proposiciones, entre otras, que permiten empezar a hablar del fenómeno.

- d. *La concreción de supuestos conceptuales* incluye, además de la disposición adecuada del espacio experimental, el proceso de elaboración de instrumentos de medida y construcción de escalas de medida de las magnitudes involucradas en la constitución de la fenomenología estudiada. Al respecto es importante tener en cuenta que estudiar el proceso de construcción y reconstrucción de una magnitud, así como de sus formas de medida, permite simultáneamente examinar diversas rutas de constitución y ampliación de la base fenomenológica, a la cual esta se articula, y elaborar criterios para el planteamiento de los problemas conceptuales y la orientación de los procesos de formalización y de organización de la experiencia que están a su base en la formulación de propuestas para la enseñanza de las ciencias.

Hasta aquí se ha señalado el uso del experimento desde la visión fenomenológica planteada al inicio, buscando propiciar en el aula la construcción de magnitudes y de sus formas de medida; para, de esta manera, favorecer la comprensión y organización de una cierta fenomenología. Cuando se comienza a organizar el fenómeno y se empieza a identificar cualidades que permiten hablar de ese fenómeno, esas cualidades y su organización o relación llevan a una formalización que incluye, entre otras cosas, clasificaciones, relaciones de orden, mediciones de diversos tipos y la configuración de la representación del fenómeno analizado a partir de dichas actividades. Planteada así, esta actividad difumina la oposición que se acostumbra resaltar entre lo cualitativo y lo cuantitativo, pues resulta difícil en algún momento decidir dónde termina lo cualitativo y dónde empieza lo cuantitativo<sup>31</sup>. Se supera igualmente la dicotomía teoría-experimento, que se constituye en otra de las dificultades que se derivan de los énfasis usuales que se hacen al didactizar la actividad experimental. De alguna manera se suele asumir que el experimento es una actividad y la teoría es otra, totalmente separada de la primera, tanto que en algunos currículos el experimento y la teoría tienen espacios diferentes e incluso, en ocasiones, profesores diferentes. Estas posturas se deben leer en relación con las opciones epistemológicas y pedagógicas que se encuentran a la base, donde un punto de referencia básico en la enseñanza de

---

31 Consideramos que lo cualitativo y lo cuantitativo no se oponen totalmente, sino que son categorías que se pueden usar en el momento que sean útiles y aporten elementos para la comprensión de los fenómenos, no existen *a priori*.

las ciencias son los resultados producidos al interior de las comunidades científicas y estandarizados por los currículos de ciencias (Malagón *et ál.*, 2011: 5). Pero pensar en la ciencia como un proceso y una actividad humana implica hacer de la experimentación un todo con la dinámica de la clase que se pone en relación con las búsquedas y las posibilidades de comprensión de los estudiantes (Segura, 1993). Así, se asume que la actividad conceptual y teórica está muy influenciada por la actividad experimental y así mismo la actividad experimental está muy relacionada con la actividad teórica<sup>32</sup>, tanto así que sería casi impensable diseñar un experimento si no es desde algún enfoque conceptual o teórico<sup>33</sup>. Una tercera dicotomía que se supera con la perspectiva fenomenológica expuesta para orientar el trabajo experimental en el aula, estrechamente relacionada con las otras dos, es la separación entre el mundo sensible y el mundo de las ideas. Desde este punto de vista no es útil hacer esa diferenciación. Como se ha dicho anteriormente, los esquemas conceptuales orientan la actividad experimental; además, los esquemas conceptuales siempre son producto de la organización de la experiencia. Es posible afirmar que estos dos mundos están íntimamente relacionados y resulta poco útil tratarlos por separado.

En síntesis, se podría afirmar que el experimento genera la ampliación de la experiencia y dinamiza la teorización de esa experiencia; es decir, poner en juego algunas actividades experimentales permite a la vez transformar la experiencia y elaborar explicaciones teóricas; esas explicaciones, a su vez, permiten generar nuevas experiencias y nuevas formas de desarrollarla. En este sentido es importante insistir en que no existen esquemas conceptuales que no estén articulados a alguna experiencia sensorial, incluso en la matemática que es la disciplina teórica por excelencia. Se puede pensar en el ejemplo que Arca, Guidoni y Mazzoli (1990) presentan acerca de la

---

32 En el marco general del devenir del conocimiento científico, algunos autores han destacado el privilegio que se le ha dado a la teorización en el entendimiento de la actividad científica y cómo tal privilegio ha limitado la importancia y comprensión de la experimentación en la ciencia (Ferreiros & Ordoñez, 2002). “La relación teoría experimento es y ha sido un eje para el análisis del papel del experimento en la actividad científica. En este sentido, el papel asignado al experimento ha oscilado entre dos posiciones extremas: el experimento ha sido visto como un medio para validar el conocimiento que se tiene de los fenómenos naturales o como base para la elaboración del conocimiento sobre los mismos. En un caso, se parte de una separación entre teoría y práctica, entre el mundo de las ideas y el mundo sensible. Se considera que a través del experimento se establece un nexo entre estos dos mundos y que el experimento es el juez de la teoría en la medida que a través de este se refutan o verifican las predicciones basadas en la teoría. Desde esta perspectiva, la teoría es condición de posibilidad del experimento: mediante esta se define en qué consiste, qué efectos producir, qué se debe observar y medir. En el otro caso, se considera el experimento como fuente del conocimiento. Sin embargo, como bien lo muestran los estudios histórico filosóficos esta relación está lejos de ser tipificada de forma rígida, esta relación es compleja y dinámica” (Ayala *et ál.*, 2011: 45).

33 Por ejemplo el experimento de la gota de aceite de R. Millikan no hubiera sido posible ni se podría comprender sin la perspectiva teórica de la discontinuidad de la materia.

construcción de los números naturales: si se viviera en un mundo gaseoso, donde no se pudieran diferenciar objetos, pensar en números enteros o en números naturales, sería algo muy difícil; sería tan difícil como pensar los números complejos, porque no estarían sustentados en una experiencia sensorial; se habla de los números naturales por la experiencia de tener objetos separados.

## La experimentación y los procesos de formalización

Abordar y disolver la contraposición entre el mundo de las ideas y el mundo sensible, manteniendo eso sí sus diferencias ostensibles y, por ende, evitando la reducción del uno al otro (al igual que las otras dicotomías antes mencionadas), ha requerido profundizar en la relación entre las prácticas experimentales y los procesos de formalización. Algunos elementos sobre los que se basa nuestra propuesta se enuncian así (Ayala *et ál.*, 2011: 52):

- Los esquemas conceptuales (producto de la organización de la experiencia previa o de la actividad teórica) orientan la actividad experimental, ya sea para ampliar la experiencia o para dinamizar la teorización de esa experiencia.
- No existen esquemas conceptuales que no estén articulados a la experiencia sensorial: por ejemplo, los cuerpos casi rígidos de nuestra experiencia están a la base de los esquemas numéricos y espaciales con los cuales se organiza a la vez nuestra experiencia sensible y se configura el mundo físico.

Por la intencionalidad pedagógica que nos anima, nos hemos ubicado en el contexto de construcción o producción del conocimiento, donde más que los productos (teorías y experimentos) se examinan las actividades de formalización y de experimentación así como las relaciones entre ellas.

Es así como se puede generar una actividad experimental con la intención de plantear problemas conceptuales. Por ejemplo, en el caso de la rotación del cuerpo rígido –donde se observan algunas situaciones particulares cuando hay cuerpos en rotación y se ejercen algunas acciones sobre estos– aparecen ciertos efectos que, a pesar de que se tenga una gran experiencia en los fenómenos mecánicos, no sucede lo que desde dicha experiencia y organización de esos fenómenos se esperaríamos que sucediese<sup>34</sup>.

---

34 Por ejemplo, en Ayala *et ál.* (2008: 69-99) se expone el desarrollo de una propuesta de trabajo en donde haciendo uso del giróscopo se logra plantear el problema de la rotación del cuerpo rígido y de las magnitudes con las



En otras circunstancias, la intención de la actividad experimental está centrada en la construcción de una base fenomenológica o de hechos de observación con los que se destacan los rasgos relevantes del fenómeno. La organización de estos permite desarrollar el proceso de construcción de las magnitudes con las cuales quedan establecidos los aspectos del fenómeno que son tenidos en cuenta en su caracterización. Con la determinación de formas y escalas de medida de dichas magnitudes y el establecimiento y estructuración de relaciones entre ellas, además de enriquecer la experiencia en torno al fenómeno, se da pie simultáneamente al proceso de configuración de los principios que evidencian las generalizaciones logradas del campo fenoménico estudiado, haciendo posible así avanzar y consolidar el proceso de formalización.

Aquí es, pues, importante la pregunta: ¿qué significa construir una fenomenología? Aparece muy ilustrativo al respecto el caso de la electrostática. ¿De qué trata la electrostática?, o mejor, ¿qué problemas aborda la electrostática? Para iniciar el estudio de este campo fenoménico se acostumbra presentar experiencias de frotación de un cuerpo con otro y efectos de atracción. A partir de ello se introduce después la ley de Coulomb para abarcar la atracción, repulsión y una ley de fuerza entre esos cuerpos que han sido frotados. Estos pocos elementos no constituyen una base suficiente para la comprensión de magnitudes tales como carga, potencial eléctrico, capacidad eléctrica, campo eléctrico, en términos de los cuales se expresa la teoría. Entonces se ha considerado que uno de los aspectos importantes del experimento, en este caso, es construir la fenomenología que incluya la exploración de materiales, la caracterización de comportamientos de esos materiales a nivel estático (como por ejemplo en aisladores o dieléctricos y conductores, en particular el papel que juega el conductor y el dieléctrico en la determinación del fenómeno), la organización de formas de medir, el diseño de instrumentos de medida<sup>35</sup>. Como se deriva de lo dicho, esto implica un trabajo dispendioso y detallado. Analizar el problema del conductor aislado para decir que un electroscopio en un cierto montaje o disposición experimental que mide la carga, pero con una variación en la disposición experimental con el “mismo instrumento” se mide el potencial, requiere no obviar el camino de una estructuración conceptual del fenómeno. Ampliar y caracterizar los fenómenos electrostáticos sería

---

que se le caracteriza (torque, momento angular, momento de inercia), incluyendo el problema de los ejes principales de rotación, que pasó de ser muy teórico, difícil de comunicar, a un problema de un cierto tipo de efectos que sucedían en el giróscopo sobre los que los estudiantes podían dar cuenta e intentar explicar.

35 Para este caso resulta interesante el trabajo expuesto por Medina y Tarazona (2011), *El caso de la medición del potencial eléctrico: un ejemplo de recontextualización de saberes*, en Malagón et ál. (2011).

construir una serie de experiencias o de actividades con la intención de comprender la riqueza del fenómeno y determinar las magnitudes que permitan hacer relaciones explicativas, en donde antes que partir de modelos de partículas se requiere, más bien, examinar qué tipo de magnitudes son pertinentes, cómo se pueden medir y cómo se relacionan. Es claro que la medida está ligada a un instrumento; pero es la organización de una fenomenología la que arroja los elementos necesarios para la construcción del aparato de medida. Por ejemplo, la separación de unas laminillas en el electroscopio no es argumento suficiente para asegurar que lo que está midiendo es carga eléctrica; es necesario avanzar en la caracterización del fenómeno i.e., entre otros aspectos, caracterizar el comportamiento eléctrico de un recipiente conductor cerrado (Medina & Tarazona, 2011: 63-79).

A continuación se hará una presentación más detallada de aspectos que se han mencionado en la caracterización de la actividad experimental en el aula desde la perspectiva fenomenológica: de una parte, la relación entre la caracterización de cualidades y los procesos de formalización y, de otra, la relación entre la construcción de una magnitud y sus instrumentos de medida.

## **Caracterización de cualidades y los procesos de formalización**

El reconocimiento de un campo fenomenológico a estudiar implica diferenciar una cualidad o conjunto de cualidades que se quieren estudiar y sobre las cuales se tiene una experiencia de base que permite hacer distinciones, en algunos casos *grosso modo*. A partir de esta experiencia se pueden ampliar los efectos relacionados con dichas cualidades mediante el análisis de los efectos o comportamiento producidos. En este sentido, se obtienen ordenaciones, clasificaciones, escalas que son enriquecidas o producto de diversas disposiciones experimentales en las cuales se ha procurado el estudio de relaciones entre las cualidades estudiadas y los efectos producidos.

Hablar del fenómeno implica construir palabras para referirse a él de forma particular; este es un primer momento de formalización del fenómeno. Por ejemplo, en el caso de la electrostática inicialmente se habla de efectos que son muy importantes como la atracción y la repulsión; cuando se profundiza un poco más en la fenomenología referida a la electrostática, ya se puede empezar a hablar de otro tipo de magnitudes: cantidad de electrificación o carga, potencial eléctrico, capacidad eléctrica, entre otras.

En síntesis, se puede afirmar que hablar del fenómeno es construir un lenguaje para mostrar el proceso de diferenciación de una cualidad o conjunto de cualidades que expresen el estudio u organización del mismo.

En este camino, las magnitudes son una consecuencia de la organización de las cualidades desde las que se ha caracterizado el fenómeno. Se puede afirmar que se habla del fenómeno como se aparece ante una conciencia. En ese sentido comprender la fenomenología significa establecer algún tipo de relaciones y poner de presente que las cualidades no son en sí mismas, es decir, las cualidades son en tanto se trata de dar cuenta de la *forma* como se entiende o comprende el fenómeno. Las maneras de mirar el fenómeno producen otro tipo de cualidades y se hace posible hablar de una forma diferente del mismo fenómeno.

El caso de la flotación es ilustrativo al respecto<sup>36</sup>. Generalmente, cuando se aborda el problema de la flotación, se empieza a trabajar desde el principio de Arquímedes y de magnitudes importantes para explicar ese fenómeno, como la densidad. Entonces, se define la densidad como masa / volumen y se establecen algunas relaciones de equilibrio entre el cuerpo que se sumerge en un líquido y el empuje; y a partir de esa relación entre fuerzas se establecen algunas relaciones entre las densidades y la flotación. Un camino diferente se traza cuando se parte de la exploración del fenómeno de la flotación: se empieza por observar que si se introducen cuerpos diferentes en medios diferentes van a haber formas diferentes de flotar: unos se van a hundir más, otros menos. Si se cambian los medios en los que se realiza esta operación también cambian las formas de flotación: algunos se hundirán, otros no lo harán; y entonces se pueden organizar los cuerpos con relación a ese efecto de flotar. Esta organización permite hacer una primera clasificación de los cuerpos y hacer unas escalas, en las que se puede decir cuál cuerpo flota más, cuál cuerpo flota menos e, incluso, empezar a construir un aparato que pueda indicar entre diferentes líquidos cuál cuerpo flotaría más, cuál cuerpo flotaría menos, etc.. Así, estos análisis dan elementos para un primer esbozo de instrumento de medida, para producir una escala u ordenación de la cualidad.

Para terminar, es relevante señalar la importancia de producir esquemas teóricos que permiten hacer generalizaciones. Las generalizaciones son grandes síntesis teóricas

---

36 Véase Torres (2011), *La densidad como magnitud organizadora del fenómeno de flotación de los cuerpos. ¿Por qué el aceite siempre tiene que ir arriba del agua?*, en Malagón et ál. (2011).

en las cuales ya no se trata de dar cuenta de situaciones puntuales, sino de comunicar delimitaciones a las cuales se ha llegado. Sin embargo tales generalizaciones en la enseñanza de las ciencias pierden su sentido si no se ponen en relación con la experiencia sensible de los sujetos y con la organización y ampliación de tal experiencia.

Se advierte, entonces, que es muy importante la construcción de magnitudes ligada a la comprensión de un campo fenomenológico; aquí se han citado dos casos que ilustran esta relación: el caso de la electrostática y el caso de la flotación. La comprensión del campo fenomenológico se vincula con la determinación de una cualidad o un conjunto de cualidades que permiten estudiar y organizar el fenómeno; en ese sentido se afirma que son cualidades que permiten hablar del fenómeno. La comprensión del fenómeno se vincula luego a la elaboración de las relaciones que se pueden establecer entre esas cualidades mediante el análisis de los efectos y comportamientos producidos. Como se señaló anteriormente, se puede ver que el fenómeno no es estático y que no hay un fenómeno en sí mismo: este se va transformando a medida que se producen nuevas organizaciones.

## **Construcción de una magnitud e instrumentos de medida**

Hasta aquí se ha hecho énfasis en tres momentos en la construcción de una fenomenología: organización de cualidades, construcción de unidades y aparatos de medida y teorización del fenómeno.

Reconocer las diferentes cualidades, hacer algún tipo de clasificaciones, escalas de medida, o establecer ciertas relaciones de orden, permiten –como dice el profesor Germán Guerrero– *estabilizar el fenómeno*<sup>37</sup> en tanto ya se puede contar con unos elementos prefijados y ciertas relaciones entre esos elementos que hacen posible referirse al fenómeno.

Sin embargo, se hace necesario producir condiciones para ampliar los efectos relacionados con dichas cualidades mediante el análisis de los comportamientos producidos. Esto pone en íntima relación la construcción de una magnitud y el diseño de instru-

---

37 Conferencia pronunciada por el profesor Germán Guerrero Pino con ocasión del *Encuentro de grupos de investigación en enseñanza de las ciencias (Componente prácticas experimentales y usos del laboratorio)* realizado en la Universidad del Valle, 25 y 26 de noviembre de 2011.

mentos de medida. Aquí hay dos aspectos importantes: cuando se logra establecer cierto tipo de relaciones, hacer escalas y tener una magnitud que permite hablar de más o menos, se debe tener un instrumento o un aparato que permita medir, es decir, que exprese cuándo la magnitud es más, cuándo la magnitud es menos.

Un aspecto importante e instructivo con relación al instrumento de medida es poder asegurar que el aparato mide la magnitud que uno quiere medir. Retomando el caso del electroscopio, se debe asegurar en qué condiciones se mide la carga o el potencial, condiciones que se establecen desde el campo teórico. En este sentido, cuando se construye un aparato de medida se tiene una organización muy fuerte del fenómeno que se está estudiando; y aquí no se trata de problemas de precisión o de exactitud sino, más bien, de cómo se argumenta el funcionamiento del aparato para hablar de un determinado fenómeno.

Entonces, el aparato de medida es la concreción de una organización muy estructurada que se hace de un campo fenomenológico. Una vez hecha, se pueden generar esquemas teóricos amplios que permiten hacer algunas generalizaciones alrededor de lo que se quiere decir. Esto implica, como se dijo anteriormente, que la construcción de magnitudes y del campo fenomenológico es más bien el punto de llegada y no el punto de partida. Por lo anterior, poder establecer discusiones, relaciones, poder hacer ciertas disposiciones de aparatos, implica ya una explicación estructurada del fenómeno.

La producción de generalizaciones o la teorización alrededor del fenómeno es un proceso en el cual los sujetos pueden distanciarse de la particularidad de las situaciones específicas relacionadas con el fenómeno de estudio y producir generalizaciones que expresan las relaciones entre las diferentes magnitudes que lo caracterizan. Este punto se expresa en relaciones gráficas, relaciones matemáticas, generalizaciones verbales, que se asumen como representaciones del fenómeno.

Desde la perspectiva fenomenológica que se ha venido presentando, la organización de cualidades diluye esa dicotomía que se planteaba entre lo cualitativo y lo cuantitativo, porque esas cualidades son las que permiten llegar a elementos que normalmente llamamos cuantitativos, como son las magnitudes. De hecho, toda magnitud tiene un doble carácter. Por un lado tiene un carácter cualitativo, en cuanto hace referencia a una cualidad del sistema considerado. Y, por otro, tiene un carácter cuantitativo puesto que la cualidad considerada es susceptible de ser pensada y detectada en gra-

dos o intensidades a la luz de un cierto procedimiento. Como lo hemos hecho notar antes, este procedimiento no se refiere únicamente a la forma de tomar la medida, sino también a la posibilidad de establecer criterios que permitan saber si la propiedad en mención es igual, mayor o menor en un caso que en otro, así como el número de veces que lo es; lo que expresa, como lo hemos enfatizado, la comprensión del fenómeno al que está vinculada dicha magnitud.

De otra parte, la construcción de unidades de medida e instrumentos hace que esa separación, que usualmente se establece entre el mundo sensible y el mundo de las ideas, ya no sea tan radical; puesto que un instrumento de medida, que sería una extensión de los sentidos, por decirlo de alguna manera, estaría ligado directamente a la organización de las ideas que se tiene alrededor de un fenómeno. Por último, la producción de generalizaciones o la teorización alrededor del fenómeno, siguiendo esta ruta, diluye también esa separación que se suele hacer entre teoría y práctica. El establecimiento de escalas y relaciones y la producción de generalizaciones no es la etapa de formalización final. La formalización se produce desde el momento en que se elaboran formas de hablar del fenómeno, desde el momento en que se establecen o muestran algunas cualidades que permitan hacer organizaciones y después ir transformando ese fenómeno en sí mismo para poder establecer algunas generalizaciones y teorizaciones alrededor del fenómeno.

Este grupo ha hecho algunos estudios de caso alrededor de los problemas de la electrostática, la flotación de los cuerpos, el pH, la fuerza, la energía, la construcción de la temperatura como magnitud, entre otros, siguiendo este tipo de razonamientos. En lo que resta del escrito ilustraremos en más detalle la perspectiva expuesta para la actividad experimental con el proceso de construcción de la magnitud pH.

## Lo ácido y lo básico en la construcción de la magnitud pH

El caso de la fenomenología de la acidez y la basicidad de las sustancias ejemplifica las diferentes relaciones entre la formalización y la actividad experimental que se han presentado. Cuando se propone el estudio del comportamiento de las sustancias y se habla del comportamiento ácido/ básico, en primer lugar es posible encontrar que desde nuestra vida cotidiana se tienen algunas formas de referenciar los ácidos, bien sea por su sabor u olor característico o por la acción sobre los metales; sin embargo

es poca la experiencia que se tiene con respecto a las bases o álcalis. Por lo tanto, considerar su acción limpiadora, su aspecto resbaloso o jabonoso y su acción irritante sobre la piel es una primera ampliación de la experiencia que se logra en tanto se parte de sustancias conocidas por los sujetos y se procura establecer algún criterio para clasificar y ordenar algunos de sus comportamientos.

En el camino de la construcción de esta sistemática se ha revisado el trabajo de Robert Boyle (1664) quien, cuando publicó la obra *Experimental History of Colours*, relata la alteración de colores que sufren algunas sustancias provenientes de extractos vegetales por su interacción con ácidos o con álcalis. Ello ha servido de orientación para proponer diferentes maneras de ordenar tal comportamiento, acudiendo a la actividad experimental; para lo cual se han propuesto algunas sustancias que inicialmente todos reconocen como ácido o como base (ácido clorhídrico e hidróxido de sodio). El comportamiento que tienen estas sustancias de referencia frente a extractos coloreados de pétalos de rosa, curry, repollo morado, entre otros, es comparado con el comportamiento que tienen otras sustancias como la leche, el agua lluvia, la sangre, el jabón o el vinagre.

Esta actividad, como se dijo antes, permite producir una clasificación de sustancias entre ácidos y bases. Se construye un conjunto de características que son comunes a unos y a otros, y que permiten ahora referirse a este tipo de sustancias. Sin embargo, no es útil para poder dar cuenta de cuál es más ácida o cuál es más básica.

En un siguiente momento se ha propuesto examinar el comportamiento de cada una de estas sustancias con respecto al paso de la corriente eléctrica. Examinando esta relación, Arrhenius (1903) expresó que: “Los ácidos y las bases con mayor conductividad son también los más fuertes... las moléculas eléctricamente activas son también químicamente activas, y que por el contrario las moléculas eléctricamente inactivas también son químicamente inactivas, en términos relativos por lo menos.” Por esta vía es posible producir una ordenación de las sustancias de las más a las menos ácidas o básicas. Se está ante un segundo momento de síntesis teórica; sin embargo para construir una escala de acidez es necesario seguir indagando en su relación con los comportamientos eléctricos, puesto que hasta aquí es independiente el comportamiento ácido del básico.

La relación con el potencial eléctrico que genera cualquier sustancia con respecto a una de referencia es la que posibilita la construcción de una escala única. Se pueden comparar todas las sustancias con respecto a un referente. Si se escoge, por ejem-

plo, el ácido clorhídrico como referente, es de esperar que frente a sí misma tenga un potencial igual a cero; pero, a medida que su comportamiento ácido sea menor, su diferencia de potencial será mayor. Ahora, si se escoge el agua como referente, a medida que se ponga en relación con sustancias más ácidas que el agua, su potencial será mayor; y a medida que se coloque frente a sustancias más básicas, también el valor absoluto de su potencial será mayor. En este caso se obtiene una ordenación de sustancias más ácidas que el agua hasta sustancias menos ácidas que el agua. Se llega a un tercer momento de síntesis teórica en la cual se ha podido unificar los comportamientos ácidos y básicos, inicialmente considerados comportamientos opuestos, en una sola escala de medida. Es posible, también, indagar por la variación de esta cualidad con respecto a la concentración de las soluciones que se están utilizando, o con respecto a la temperatura del sistema.

Se puede seguir profundizando en este comportamiento y llegar a comparar el comportamiento de un sistema como el descrito en el párrafo anterior con respecto a otro patrón, bajo la condición de que este patrón sea de un potencial eléctrico muy estable, es decir, una pila o una celda electroquímica en la que se produzca poca variación en su potencial con variaciones de temperatura o de concentración. Lograr este tipo de organizaciones requiere examinar relaciones entre el comportamiento químico, eléctrico y térmico. Estos son, como se ha señalado en el presente documento, distintos momentos de síntesis teórica, que son generados a través de diferentes momentos experimentales, donde a partir de las escalas construidas se genera una relación con algunas variables y construcción de patrones de referencia.

La construcción de la unidad de medida y de la magnitud expresa la comprensión de estas diferentes relaciones y se concreta, además, en la construcción de un aparato de medida, el pHmetro.

Lo anterior es un trabajo detallado que suscita la ampliación de la experiencia que se tiene con las sustancias y crea lenguajes específicos para referirse a estas sustancias. Por lo tanto, reafirma nuestra convicción de que la enseñanza del mero algoritmo de  $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$  o la presentación de los modelos electrónicos o protónicos, poco ayudan en la comprensión de toda la fenomenología de la acidez, en tanto que el recorrido pone en evidencia relaciones y comprensiones que son susceptibles de ser extendidas a otros ámbitos diferentes del comportamiento químico de las sustancias.



## Bibliografía

- Arca, M., Guidoni, P. & Mazolli, P. (1990). *Enseñar ciencia. Cómo empezar: reflexiones para una educación científica de base*. Barcelona: Paidós.
- Arrhenius, S. (1903, 11 de diciembre). Development of the theory of electrolytic Dissociation. *Nobel Lecture*.
- Ayala, M. M., et ál. (2007) Consideraciones sobre la formalización y matematización de los fenómenos físicos. *Práxis filosófica*, 25, 40-54.
- Ayala, M. M., et ál. (2008). Caracterización del movimiento de rotación respecto a un punto fijo. Análisis de un proceso de formalización. En Ayala, M. M., et ál. (eds) *Los procesos de formalización y el papel de la experiencia en la construcción del conocimiento sobre los fenómenos físicos*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional y Universidad de Antioquia.
- Ayala, M. M., et ál. (2011). Magnitudes, medición y fenomenologías. *Revista de Enseñanza de la Física*, 24 (1), 43-54.
- Boyle, R. (1664). *Experimental History of Colours*. Recuperado de <http://www.csulb.edu>
- Ferreiros, J. & Ordoñez, J. (2002). Hacia una filosofía de la experimentación. *Crítica, Revista Hispanoamericana de Filosofía*, 34 (102), 47-86.
- Flórez, I. D. & GÓMEZ, A. L. (2012). Construcción de explicaciones desde la experiencia. Tesis maestría en Docencia de las Ciencias Naturales, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá.
- Heidegger, M. (1996). El concepto de experiencia de Hegel. En *Caminos de bosque*. Madrid: Alianza Editorial.
- Malagón, J. F. et ál. (2011). *El experimento en el aula: Comprensión de las fenomenologías y construcción de magnitudes*. Bogotá: Fondo Editorial Universidad Pedagógica Nacional.
- Medina, J. & Tarazona, M. (2011). El caso de la medición del potencial eléctrico: un ejemplo de recontextualización de saberes. En Malagón, J.F. et ál. (eds.). *El experimento en el aula: Comprensión de las fenomenologías y construcción de magnitudes*. (pp. 63-87). Bogotá: Fondo Editorial Universidad Pedagógica Nacional.
- Sandoval, S. (2008). *La comprensión y construcción fenomenológica: una perspectiva desde la formación de maestros de ciencias*. Tesis de maestría en Educación, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá.

Segura, D., (1993). *La enseñanza de la física: dificultades y perspectivas*. Bogotá: Fondo Editorial Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Torres, C. A. (2011). La densidad como magnitud organizadora del fenómeno de flotación de los cuerpos. ¿Por qué el aceite siempre tiene que ir arriba del agua? En Malagón, J. F. et ál. (eds.). *El experimento en el aula: comprensión de las fenomenologías y construcción de magnitudes*. (pp.107-128). Bogotá: Fondo Editorial Universidad Pedagógica Nacional.

# Capítulo 5. Fenomenología asociada al ver<sup>38</sup>

Ana Lilia Gómez Estrella<sup>39</sup>

Iván Darío Flórez Rojano<sup>40</sup>

## Introducción

El maestro se enfrenta en su labor docente a una experiencia diferente cada día y, de acuerdo con sus acciones, esa experiencia se modifica y amplía permanentemente. Para el maestro de ciencias, como para los otros, las vivencias de aula y del entorno escolar están signadas en cada momento por organizaciones provenientes de dispositivos convivenciales, académicos, normativos, administrativos, etc., los cuales influyen permanentemente en su experiencia profesional. Para el estudiante la situación no es diferente, pues debe enfrentar una normatividad, una secuencia de contenidos disciplinares, un reconocerse como sujeto en comunidad que muchas veces implica procesos muy complejos.

Así, el planteamiento aquí enunciado no se enmarca dentro de un contexto puramente disciplinar, curricular o pedagógico, sino que hace parte de una postura frente al rol del docente, la cual involucra los aspectos antes mencionados, integrados en un todo que se debe evidenciar con cada acción, cada pregunta, cada orientación llevada a cabo con y para sus estudiantes.

---

38 El presente capítulo se construye con base en la tesis de maestría en docencia de las ciencias naturales: Construcción de explicaciones desde la experiencia (2012) elaborada por los autores bajo la dirección de los profesores José Francisco Malagón Sánchez y Sandra Sandoval Osorio del grupo de investigación Física y Cultura.

39 Egresada Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales Universidad Pedagógica Nacional. analiliagomezestrella@yahoo.es

40 Egresado Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales Universidad Pedagógica Nacional. iflorez@hotmail.com

Se formula esta propuesta para promover acciones tendientes a la transformación, desde la enseñanza, de las relaciones entre los diversos actores de la escuela en un ejercicio alrededor de la construcción de explicaciones sobre un fenómeno particular; en este caso, el asociado al ver.

Se habla aquí especialmente de fenómenos, de construcción del conocimiento, de procesos de diferenciación y no diferenciación, pero sin apartar de la discusión la injerencia de los aspectos transversales mencionados al comienzo. Pues se involucran las relaciones entre conocimiento, espacio escolar y estudiante, al recoger su experiencia y lenguaje respecto al fenómeno estudiado. También se ocupa este artículo de las relaciones entre docente y estudiante, pues no es ya el primero quien ejerce una cátedra y presenta argumentos en relación con la forma como se debe comprender el fenómeno. Se interesa, además, por las relaciones entre docente y conocimiento, pues se debe partir de su propia construcción del fenómeno, para un posterior diálogo con sus estudiantes, con sus compañeros, con la teoría y el conocimiento al respecto. También se cuestiona la forma como está organizada la escuela, los planes de estudio y los currículos, pues se propone un trabajo no fragmentado en núcleos de conocimiento, en secuencias de contenidos o particulares a un docente en especial.

Son precisamente estas reflexiones las que motivaron la elaboración de este trabajo de investigación, el cual recoge la formación en la Especialización en Docencia de las Ciencias para el Nivel Básico (1996) y en la Maestría de Docencia de las Ciencias Naturales (2012), de los dos autores, docentes en ejercicio adscritos a la Secretaría de Educación de Bogotá; una licenciada en Biología y el otro licenciado en Matemáticas, cuyos estudios principales siempre se han desarrollado en la Universidad Pedagógica Nacional. Los autores, a pesar de su formación inicial en campos disciplinares diferentes, coinciden plenamente en reconocer las problemáticas planteadas y en las acciones pedagógicas que se pueden proponer en el trabajo con los estudiantes.

Ello motivó, en primera instancia, a realizar una construcción propia del fenómeno por parte de los autores, la que aún está transformándose y posiblemente lo seguirá haciendo. En forma simultánea se realizaron análisis frente al fenómeno de la luz y el ver, haciendo un rastreo de formulaciones planteadas desde los antiguos griegos hasta Newton, para lo cual autores como Michel Serrés y Arthur Zajonc, quienes han desarrollado estudios de este tipo, permitieron leer con menos dificultad y una mirada diferente algunos textos de Euclides, Descartes, Al-Hazen, y otros pensadores de la antigüedad.

Pero no basta con llevar a cabo estudios únicamente disciplinares cuando se trata de colocar estos fenómenos en el ambiente escolar, es necesario pensar en la forma como se pueden llevar a cabo procesos de construcción de conocimiento con los jóvenes y niños de la educación básica secundaria y media, que permitan realmente la comprensión del fenómeno desde su experiencia, lenguaje y conocimiento, y transformen en forma dinámica la construcción del fenómeno en cada momento en el cual lo piensen y cuestionen. Se vio importante incluir, por consiguiente, dentro de las perspectivas de trabajo, modos de proceder y de conocer como los que emergen de la fenomenología, para la ampliación y organización de la experiencia, la percepción del fenómeno como una totalidad, y el carácter cultural del trabajo científico.

## Contextualización del problema

Dentro de las dificultades que se observan en relación con la enseñanza de las ciencias en la educación básica secundaria y media se identifican:

- Una presentación fragmentada del saber que circula en las ciencias.
- Dentro de cada disciplina la estructuración de una secuencia de contenidos (conocimiento acumulativo). Se piensa que hay un solo camino de abordar el conocimiento.
- Se hace énfasis en las competencias y la capacidad de demostrar el dominio del saber mediante el saber hacer.
- Se reconoce la importancia del contexto como un elemento esencial para el desarrollo del aprendizaje, pero en muchos casos se buscan contextos “simulados” donde se puedan instaurar determinados contenidos.
- El experimento en la clase de ciencias se utiliza para corroborar teorías. Las prácticas realizadas son distantes de la realidad del estudiante y de su experiencia.

Desde el trabajo desarrollado en la Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales de la Universidad Pedagógica Nacional se hace énfasis en las formas como se lleva a cabo el proceso de enseñanza por parte del docente, para lo cual se consideran varios supuestos:

- Las personas, y en este caso los estudiantes, tienen “cosas que decir” en relación con determinados fenómenos a los cuales se enfrentan.
- Este conocimiento de los estudiantes proviene de su experiencia, y puede expresarse a través de su lenguaje. Según Glasersfeld (1990), en una compilación

hecha por Pakman (1996): “Todo lo que llamamos «conocimiento», sea sensoriomotriz o conceptual, es el resultado de nuestra propia reflexión y abstracción a partir de lo que percibimos y concebimos”.

- La experiencia de los estudiantes puede ampliarse a través de la presentación de nuevos fenómenos relacionados y ello permite resignificar su conocimiento y dotarlo, por consiguiente, de nuevo lenguaje.
- La construcción social del conocimiento juega un papel importante como mecanismo de interacción entre los sujetos y puede darse a diferentes niveles: con otros estudiantes, con los libros y textos, con el docente, etc.
- La experiencia de los estudiantes se presenta en forma integral y no diferenciada.

Se desarrolló la propuesta de aula con estudiantes de dos instituciones educativas distritales de la ciudad de Bogotá: el Colegio Distrital Jorge Soto del Corral, de la Localidad 3ª de Santafé, y el Colegio Técnico Comercial Manuela Beltrán, de la Localidad 13ª de Teusaquillo. En ambas instituciones se desarrollaron las actividades con estudiantes de grado 9º.

## **La construcción de explicaciones desde la experiencia**

Generalmente, la manera como el conocimiento científico se transfiere a los espacios escolares se separa de una actividad orientada a recoger la construcción de explicaciones de quienes están integrados en el contexto educativo; es decir, fundamentalmente el papel culturalmente asignado a los estudiantes y docentes en esta actividad se ha orientado en un caso hacia el aprendizaje, como incorporación de conocimientos y el desarrollo de competencias para desenvolverse en la sociedad y, en el otro, hacia la enseñanza, en un despliegue de transmisión de contenidos y desarrollo de habilidades en los estudiantes para que respondan a políticas y metas en materia escolar.

Esta mirada particular del proceso educativo, centrada en la enseñanza y el aprendizaje, desconoce el papel del saber que proviene de la experiencia de los sujetos y de la interacción de ellos con diferentes fenomenologías en su cotidianidad, lo cual opera una sucesiva diferenciación en donde intervienen sus formas de percepción en la construcción de su lenguaje y conocimiento y, por consiguiente, en formas de proceder y comportarse en la realidad.

El conocimiento de los estudiantes frente a los fenómenos, puesto en práctica cuando se les proponen nuevas situaciones, no proviene de una disciplina particular de las ciencias, sino que recogen un conjunto de conocimientos previos, informaciones y nuevas relaciones para encontrar explicaciones desde lo más conocido y vivido. Por lo cual, es importante involucrar un proceder fenomenológico para recoger esa experiencia no diferenciada e ir la consolidando en explicaciones más diferenciadas para acotar el fenómeno y organizar la experiencia en forma constructiva.

De manera que se hace necesario buscar alternativas para responder a preguntas como: ¿Qué relaciones interactúan en los procesos de aprendizaje en un contexto de ciencia no diferenciada? ¿Cuál es el papel de la experiencia en la construcción de explicaciones? ¿Qué papel juega el experimento en la ampliación de la experiencia? ¿Cómo se conectan los procesos de producción de explicaciones con la formalización y matematización?

Por eso se hace necesario identificar los elementos e interacciones inherentes al fenómeno de ver, así como el reconocimiento de condiciones y características que permiten dar cuenta de situaciones y experiencias asociadas a él. De manera que no se intenta trabajar con teorías o leyes acerca de la luz, ni menos aun tratar de identificar su esencia, ni tampoco se apunta a resolver situaciones de aplicación o desarrollo tecnológico. El interés está en las comprensiones suscitadas en torno al fenómeno para caracterizarlas y describirlas.

Comprender “el ver”, en el contexto de esta propuesta, implica reconocer en el fenómeno varios componentes en interacción: la fuente de luz, los objetos iluminados y el observador capaz de percibirlos. El análisis de este fenómeno inicia con la experiencia y luego da paso a las explicaciones, para retornar a una nueva experiencia más informada. Este proceso se vincula con las sensaciones y, por consiguiente, pueden identificarse percepciones al respecto, las cuales se representan, expresan o comunican de diferentes maneras.

Lo anterior justifica la selección del asunto a tratar en el trabajo de aula, pero también se hace necesario articular como argumento un proceder fenomenológico tanto para el análisis del fenómeno como para la organización y comprensión del trabajo con los estudiantes. Desde esta exigencia se configura la necesidad de movilizar acciones tendientes a reconocer en los estudiantes y los docentes la posibilidad de explicitar y

poner en consideración de los otros las comprensiones que emergen de su contacto con el fenómeno, siempre visto como una unidad compleja y cambiante. En esa perspectiva se habla de un ambiente de aprendizaje, entendido como conjunto de acciones ejercidas sobre situaciones, observaciones, relaciones, representaciones y explicaciones hacia la interacción que el individuo tiene con el fenómeno y su construcción.

## La fenomenología asociada al ver

Para construir las representaciones conforme a lo experimentado por las personas en su historia, su cultura, su conciencia y desde sus intenciones de comprender el mundo, se procede desde un análisis fenomenológico. En este se busca el origen de las explicaciones sin recurrir a teorías ya elaboradas, desprovistas de argumentación y evidencias experienciales:

“El término (fenomenología), significa el estudio de los ‘fenómenos’, es decir, de lo que aparece en la conciencia, de lo ‘dado’. Se trata de explorar esto que es dado, la ‘cosa misma’ en que se piensa, de la que se habla, evitando forjar hipótesis tanto sobre la relación que liga el fenómeno con el ser del cual es fenómeno, como sobre la relación que lo une al yo para quien es un fenómeno” (Lyotard, 1954: 11).

De manera tal que no se habla de un sujeto y un objeto separados y desconectados sino, por el contrario, interrelacionados. Al considerar el fenómeno como el conjunto de los procesos de interacción que se producen entre el sujeto que observa y trata de explicarse una situación, en un contexto dado, se avanza en la construcción gradual del fenómeno que enriquece la mirada de quien observa y se transforma en la relación con ese fenómeno, y se posibilita caracterizar en otras perspectivas que no eran “visibles” en un primer momento, pero que se “revelan” en la medida que el sujeto transforma su mirada.

La experiencia de ver el mundo que nos rodea está arraigada en los individuos en su estructura conceptual más básica. Pocas veces nos preguntamos por las condiciones mediante las cuales esto es posible, cuando se efectúa la pregunta es debido a la concurrencia de algo que hace la diferencia con lo anterior y genera nuevas expectativas.

Al ser “el ver” algo tan natural y cotidiano, formular explicaciones en relación a la fenomenología asociada puede convertirse en una tarea bastante compleja y de difícil



comprensión si se aborda de la manera como usualmente viene presentada en los textos de física, donde se hacen consideraciones (en el mejor de los casos) sobre la naturaleza de la luz y se avanza en forma precipitada a hablar de rayos o haces luminosos, principios y leyes de reflexión, refracción, difracción, interferencia, polarización, etc. Tampoco hablar de la naturaleza ondulatoria o corpuscular de la luz nos resulta, en principio, coherente con la experiencia cotidiana. Mencionar la existencia de rayos de luz que se mueven en línea recta tampoco corresponde al campo experiencial inmediato de las personas. Este camino teórico nos aleja de la experiencia propia.

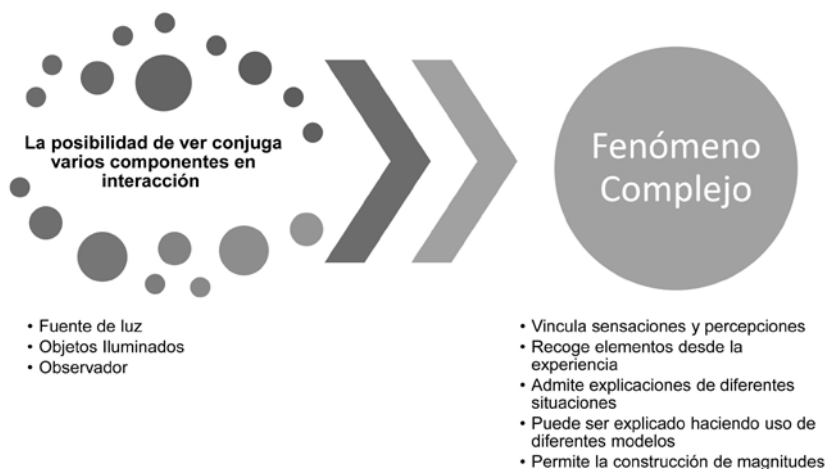
Si bien la discusión en torno a la reflexión y refracción de la luz y las consideraciones sobre rayos, ángulos y homotecias tienen referencias desde la antigüedad en diferentes contextos (matemáticos, teológicos, cosmológicos, entre otros), las soluciones originadas para dar cuenta de ellos presentan una larga trayectoria a través del desarrollo del pensamiento humano.

Se inicia el trabajo en acciones llevadas a comprender “el ver” como una estructura compleja, lo cual implica reconocer en el fenómeno diversos contextos de explicación; pues desde él:

- Se conjugan varios componentes en interacción, los cuales tienen existencia en forma relacional pues no se concibe la posibilidad de uno sin la adhesión de los demás.
- Se identifican tres elementos asociados a esta fenomenología: la fuente de luz (la cual incluye tácitamente la luz), los objetos iluminados por la luz y el observador, que es capaz de percibir los objetos por la luz reflejada y que llega a sus ojos.
- Se favorece la construcción de magnitudes pertinentes al fenómeno (como la iluminación), proceso que implica incluir espacios de experimentación y conceptualización, aproximándose a ellos mediante estudios histórico-críticos.
- Congrega diferentes situaciones, las cuales, aparentemente no se presentan conectadas pero que pueden ser explicadas utilizando las representaciones y explicaciones frente al fenómeno que se van construyendo durante el estudio.
- Es plausible de ser analizado desde la experiencia como punto de partida y, luego, tomando distancia de esa experiencia para dar paso a las explicaciones y viceversa, es decir, revisando la explicación desde la experiencia; así como construyendo explicaciones durante la experiencia o diseñando nuevas experiencias en la elaboración de las explicaciones.

- Está vinculado con las sensaciones y por consiguiente pueden identificarse percepciones al respecto, las cuales se representan, expresan, o comunican de diferentes maneras.
- No se reduce a un solo modelo explicativo, sino que genera y soporta diferentes construcciones conceptuales.

**Imagen 1.** El ver como un fenómeno complejo.



En relación con el fenómeno de ver no es necesario tener unos supuestos teóricos de base, como por ejemplo, que “la luz viaja en línea recta”, o partir de las teorías corpuscular y ondulatoria para explicar las interacciones entre objeto-fuente, observador y luz. Más bien, se recurre a la experiencia del observador en el ejercicio del ver, problematizándola mediante situaciones donde investigue las consecuencias de variar las condiciones de iluminación tanto en la fuente como en el objeto y el observador.

Para construir un discurso fenomenológico asociado al ver es importante y necesario, entonces, reconocer las concepciones provenientes de la experiencia de las personas en un contexto de significación de ciencia no diferenciada. Esta categoría de análisis exige el reconocimiento de un grupo de problemas, en relación con las trayectorias, la caracterización de los cuerpos frente a la luz, los campos de visión y la relación entre objeto, observador y fuente, así como el estudio de las diferentes concepciones, explicaciones y experiencias realizadas por personas que se preguntan por el fenómeno o han abordado estas situaciones.

Un grupo de problemas que puede acompañar el análisis de la fenomenología asociada al ver desde una perspectiva como la propuesta exige reconocer el ámbito de interacción de los componentes asociados al ver: sin la presencia de luz y objetos iluminados el observador, en sí mismo, no dota de significado el fenómeno, de manera similar, puede haber luz y objetos iluminados, pero sin observador el fenómeno no puede ser informado; tampoco es suficiente la fuente de luz y el observador si no hay algo que sea iluminado.

Un campo de problematización posible implica proponer interrogantes y experiencias pensando en las interacciones entre objeto-observador, observador-fuente, y fuente-objeto.

Con los estudiantes se hizo una aproximación al fenómeno de ver mediante una actividad relacionada con situaciones imaginadas, en ella se formularon las siguientes intencionalidades:

- Reconocer las concepciones de los estudiantes en relación con la experiencia del ver.
- Identificar la manera como explican el fenómeno de la visión en situaciones no diferenciadas.
- Promover la construcción de explicaciones desde el saber originado en la experiencia y haciendo uso de su conocimiento y lenguaje.
- Originar una ruta que problematice a los estudiantes en relación con la fenomenología asociada al ver.

En síntesis, con esta actividad se logró propiciar un ambiente de aprendizaje como espacio de construcción significativo de cultura. Lo cual es necesario en aquellos procesos educativos donde se involucran objetos, tiempos, acciones y vivencias de los participantes. Es posible, entonces, crear ambientes de aprendizaje lo suficientemente dinámicos y significativos para lograr en los alumnos una disposición a aprender a pensar activamente, en los cuales se privilegian:

- Un objeto de conocimiento: la experiencia de ver.
- Tiempos de reflexión y experimentación.
- Procesos de diferenciación mediados por la pregunta, la problematización y la recuperación de la experiencia.

- Vivencias de sus participantes para la ampliación de la experiencia.
- La no diferenciación como el seguimiento a la formulación, refinamiento y consolidación de explicaciones asociadas al ver.

En ese sentido el papel de la experiencia en la elaboración de explicaciones juega una doble función, al ser utilizada para establecer analogías con situaciones anteriores así como para modificar el conocimiento sobre el fenómeno por cuanto surgen nuevas preguntas y se reconocen diferentes posibilidades. La interacción entre los individuos y los fenómenos es recogida, en primera instancia, a través de los sentidos y, de acuerdo con la experiencia anterior, se buscan semejanzas con situaciones similares producto de su conocimiento para ser explicadas a través del lenguaje.

En cuanto al fenómeno de ver se elaboraron explicaciones sobre la fenomenología asociada, formulando descripciones en términos de la identificación de los elementos que intervienen cuando se manifiesta y sus interacciones; de la misma manera se reconocieron las condiciones y características que permiten dar cuenta de situaciones y experiencias asociadas a él.

## **El papel de la experiencia en la construcción de explicaciones**

En esta primera actividad los estudiantes explicaron y dieron razones frente a las situaciones planteadas de acuerdo con su conocimiento, experiencia y lenguaje, es decir, que no hubo una mediación previa a la realización de la actividad donde ellos pudieran documentarse sobre el fenómeno.

Desde esa perspectiva se puede asumir que para los estudiantes todo lo que ven corresponde a “algo en la realidad”, en ese sentido el fenómeno se describe como aparece ante ellos sin teorías revisadas previamente.

Se establece un conocimiento indiferenciado frente al fenómeno debido en parte a la poca problematización al respecto en contextos escolares y la exposición a una cultura mediática en la cual la diferenciación de los vocablos en determinados ámbitos disciplinares no está involucrada, de modo que es frecuente encontrar por ejemplo referencia a rayos, ondas, emisiones, etc., para referirse a la propagación de la luz.

El fenómeno se transforma durante el ejercicio, pues los estudiantes van constituyendo con mayor precisión los elementos que hacen parte del fenómeno, no mencionan aspectos como los colores y las formas, como se hizo al inicio, y se concentran más en el papel del observador, la fuente de luz y el objeto observado cuando se enfrentan a situaciones que requieren explicar el fenómeno de ver.

Se establecen diferencias y semejanzas con otras situaciones conocidas por ellos como las fases de la luna y el sonido, evidenciando la posibilidad de emplear las representaciones organizadas para dar cuenta de estos fenómenos. Pero frente a preguntas más diferenciadas como, por ejemplo, “¿todos vemos las mismas partes iluminadas de un objeto desde la posición donde nos encontramos?”, se observan dificultades al tratar de responderlas con base en sus representaciones.

En la misma dirección, como lo afirman Arcá, Guidoni y Mazzoli, quienes reconocen como necesario implementar estrategias de “colonización cognitiva” se formuló la primera actividad con los estudiantes, mediante la cual fue posible recoger la experiencia de los estudiantes para ampliar los modos de conocer y experimentar la realidad.

Por estrategia de colonización se puede entender un modo de conquista progresiva y gradual, asociada a recorridos «exploratorios» de todo tipo, pero también a un retroceso continuo; a un volver a poner en cuestión aquello que se ha hecho para organizarlo de nuevo; a un estar en condiciones de servirse también de aquello que ya se posee, adaptándolo para responder a nuevas exigencias; a un deseo continuo de mejorar la ordenación de todo el «territorio», etc. (Arcá, Guidoni y Mazzoli, 1990: 24-25).

Esta perspectiva promueve la organización de un análisis fenomenológico donde se involucran el conjunto de situaciones, observaciones, relaciones, representaciones y explicaciones expresadas en torno a un fenómeno, los cuales prescinden de axiomas o supuestos de base, con los cuales se estructuran las teorías científicas aceptadas por una comunidad académica.

La mirada fenomenológica asumida recoge elementos de los estudios organizados por Heidegger en relación con la función de la descripción como criterio de interpretación en las ciencias. De acuerdo con Heidegger, las ciencias deben hacer afirmaciones basadas en las representaciones organizadas sobre la misma experiencia, la cual es la

manera de acceder a los fenómenos, tal como se muestran, sin necesidad de llegar a presentar especulaciones sobre aspectos no visibles del fenómeno.

Afirma Heidegger (1923, párrafo 71): “...la fenomenología no es, pues, otra cosa que una forma de investigación, a saber: referirse a algo, hablar de algo, pero tal como ese algo se muestra y solo en la medida en que ese algo se muestra”.

Es notable cómo las explicaciones de los sujetos emergen cuando se colocan frente a situaciones cercanas a su experiencia sensible y cotidiana. Fenómenos como el de *ver*, inmersos en la vivencia de las personas, proveen de una gran riqueza de componentes para desarrollar procesos de aprendizaje de las ciencias, no solo por su complejidad inherente, sino también por la articulación que exige de su conocimiento-lenguaje y experiencia.

Los individuos poseen seguridades en relación con su habilidad para manejarse frente al fenómeno de *ver*, y parecen no requerir conscientemente de un conocimiento y un lenguaje más amplio o especializado sobre el fenómeno para desenvolverse en el mundo. Y bien puede ser eso cierto en parte, pues los sujetos “saben” ejecutar ciertas acciones para resolver situaciones cotidianas como buscar espacios iluminados para leer un texto dentro de un cuarto con poca luz o encender la luz cuando se va de noche al baño, mirar a través de los espejos a las otras personas que se encuentran dentro de un transporte público (el conductor de un vehículo pocas veces le habla a las personas girando su cabeza para dirigirse a la persona que va atrás, sino que lo hace dirigiéndose a uno de los espejos del vehículo), afeitarse mirándose al espejo, evitar caerse al caminar por una calle oscura, esconderse en un sitio oscuro en la noche para no ser visto pero sí poder ver a otra persona que circula por un sitio iluminado, entre otras numerosas situaciones que se podrían enumerar.

Sin embargo, ese conocimiento producto de la experiencia que tienen los sujetos y que han organizado y estructurado, se vuelve objeto de reflexión y cuestionamiento cuando se enfrentan situaciones o formulan predicciones en relación con lo que sucedería en determinadas circunstancias, ya sean hipotéticas o reales. Se pasa a un momento en el cual se requiere la organización y ampliación de sus experiencias para resolver problemas asociados a la iluminación o a la explicación del *ver*. De esta manera los individuos pueden incorporar nuevo lenguaje enlazado con la experiencia reconfigurada y reorganizada, con mayor significado y sentido, y desprovisto de

supuestos o teorías preestablecidas. Esta articulación entre lenguaje y experiencia se da de forma natural en el proceso de construcción del fenómeno y estructura nuevo conocimiento, el cual se reconoció durante el estudio en la forma como los estudiantes hablan acerca del fenómeno y se refieren a él, a través de sus representaciones cada vez más llenas de argumentos y usando términos que tienen una connotación más diferenciada sobre el fenómeno.

Para que ello sea posible, el docente debe colocarse en situación de reflexión sobre su misma experiencia en torno al fenómeno, reflexión que le permita, ahora sí, dialogar con el fenómeno y con aquellos que han teorizado sobre él. Es decir, el docente también debe construir el fenómeno y seguirlo construyendo con sus estudiantes. En este sentido, las teorías y conocimientos divulgados en textos, libros y otros medios son considerados como interlocutores y no como depositarios de una verdad.

Este primer espacio de reflexión autónoma donde el docente se vaya desprendiendo de conceptos dados *a priori* y supuestos estructurados por la teoría, le permitirá realizar, en forma similar a como lo podrían hacer sus estudiantes, una organización y caracterización del fenómeno.

En esa perspectiva un análisis histórico-crítico relacionado con el estudio del fenómeno, le permite ampliar su experiencia y trabajar con las preguntas y situaciones a las cuales fue sometido el fenómeno por quienes inicialmente trazaron la ruta de construcción de la explicación para el mismo.

Los estudios realizados en relación con los problemas que se plantearon en un comienzo por quienes originaron una ruta de conocimiento y discusión de las situaciones relacionadas con la fenomenología asociada, permitirá al docente llenarse de argumentos, preguntas, conocimientos y experiencias en cuanto a las perspectivas de comprensión del fenómeno; las cuales se pondrán en juego en el momento de realizar las actividades con sus estudiantes, no para “mostrar el camino” sino para cuestionar, problematizar y ampliar la experiencia de sus estudiantes con situaciones que pongan a prueba sus representaciones y modos de explicarse las situaciones planteadas.

El rol del docente se debe transformar en una dinámica más activa, no para recoger la atención de los estudiantes en torno a su discurso, sino para orientar y mediar en la construcción de explicaciones desde sus experiencia, conocimiento y lenguaje.

En especial, se debe evitar por parte del docente incorporar explicaciones para el fenómeno estudiado que hagan referencia a conceptos de los cuales la experiencia inicial de los jóvenes y niños no puede tener referentes. Se debe avanzar lentamente pero con seguridad hacia la construcción de conocimiento tratando de explorar aquello que es dado, aquello sobre lo que se piensa. En el caso del fenómeno de ver es más significativo y productivo experimentar y discurrir sobre la iluminación de los objetos (lo cual posee una complejidad) que orientar la mirada de los estudiantes hacia aspectos distantes de la experiencia como los rayos de luz o la construcción de las imágenes en las lentes de diferentes tipos.

En este caso es necesario forjar, especialmente en la educación básica y en la media, si no se hizo con anterioridad, un trabajo con las cualidades del fenómeno de *ver* que puedan ser percibidas, clasificadas, comparadas, ordenadas y medidas, para avanzar en forma segura hacia procesos de matematización y formalización más diferenciados, que involucren el reconocimiento de regularidades y patrones, hacia la construcción de la magnitud.

La conceptualización de las teorías y leyes que circulan alrededor del fenómeno de *ver* en su forma más simbólica y algebraica, conlleva inicialmente la construcción de las magnitudes inherentes al fenómeno, para lo cual este proceder fenomenológico planteado en la tesis se vuelve imprescindible si se quiere avanzar en un proceso de comprensión, más allá de la mera aplicación de fórmulas y algoritmos de solución de ejercicios.

Por ello se defiende la idea de que es necesario trabajar con un proceder fenomenológico producto de las interacciones entre experiencia y experimentación en una dinámica de construcción de explicaciones desde las sensaciones hacia las representaciones y otros procesos de formalización.

## **La representación como forma de explicación**

La representación hecha sobre un fenómeno abarca la totalidad de este. Desde la perspectiva de esta propuesta, la representación se concibe como la identificación de elementos presentes en el fenómeno o situación, que se muestran relacionados o independientes. El reconocimiento de patrones o regularidades dentro del fenómeno adquiere sentido para él, lo cual se constituye en un sistema dentro del cual se presentan relaciones y estructuras que son manejables y que permiten comprender la situación estudiada.



A través de las representaciones se describe la experiencia y el conocimiento alrededor de un fenómeno, y esta descripción del fenómeno incluye al hombre que la realiza, pues hace parte de esa representación. No hay representaciones verdaderas si se concibe el fenómeno como algo que se transforma con el sujeto, por ello el asunto de las representaciones, de acuerdo con Hacking (1996: 171) “no es una cuestión de lo que es verdadero; que solo hay sistemas mejores o peores de representación, y que bien puede haber imágenes inconsistentes pero igualmente buenas...” del fenómeno.

Se espera que desde una situación de un campo fenomenológico los estudiantes representen lo observado mostrando precisamente las diferencias entre un momento y otro, lo cual implícitamente recurre a la percepción de las semejanzas. Estas representaciones se dan en diferentes formas, ya sea verbal, icónica, gráfica, corporal, etc., usando elementos propios de su lenguaje, su conocimiento y experiencia.

Para Arcá, Guidoni y Mazzoli no siempre toda experiencia o conocimiento puede ser representada, y en forma recíproca tampoco toda representación corresponde a un conocimiento o experiencia fáciles de definir. Pero existe un movimiento permanente dentro de los cuales es posible reconfigurar el fenómeno entre experiencia, lenguaje y conocimiento, que de por sí son indisolubles y constantes en el momento en que se problematizan y se intervienen, por ejemplo, a través de una acción pedagógica:

“En cualquier nivel existen, en efecto, unos «lenguajes»; es decir, existen unos «modos de representar según esquemas» (que luego sean palabras, dibujos o imágenes es lo mismo, desde este punto de vista); y en cualquier nivel hay un plano de «experiencias» de por sí «indecibles» (hay cosas de las que se tiene experiencia y que no se consigue decir, describir o representar; hay cosas que se saben decir y a las que no se consigue identificar con experiencias).

Por eso lo primero que debe hacerse en toda intervención para la construcción del conocimiento es reforzar, y por tanto explicitar, esta dinámica; comenzando a discutir el nivel de experiencia, lenguaje y conocimiento «comunes»” (Arcá *et ál.*, 1990: 28).

Como la primera actividad desarrollada consistió en establecer una relación para los elementos identificados, se promovieron análisis de situaciones ficticias acerca de Superman y el Hombre Invisible, ante lo cual, desde las representaciones organizadas por los estudiantes, fue posible reconocer que:

- Comienzan a hablar de fenómenos de la reflexión y la refracción, hablan de partículas, rayos y ondas, pero no es clara su intervención en el proceso, posiblemente lo hacen a manera de asociación con ideas que circulan en la cultura, en la escuela o en los medios de comunicación.
- Incorporan nuevos elementos dentro de la explicación, en la que se hace referencia a que no es posible mirar a través de los objetos si estos no tienen ciertas características, como ser transparentes, translúcidos (realizan una clasificación de los objetos según dejen pasar la luz, la reflejen o la absorban).
- Se les dificulta explicar la forma como el ojo simultáneamente puede enviar algo hacia el objeto y recibir algo de él. Pues, indican que es el ojo el que envía una especie de señal para tantear el objeto y a la vez traer la imagen y llevarla para ser procesada en el cerebro.
- Las explicaciones se fueron transformando a través del desarrollo de la guía para argumentar sobre la relación entre los elementos que interactúan en el proceso de ver. Al llegar al final de la guía cuando se habla del Hombre Invisible, se encuentran argumentos como:
  - “Él no nos puede ver porque la única forma de que un objeto sea visible es que no refleje la luz ni la absorba, sino que la deje pasar a través de él, una persona que en las retinas deja pasar la luz y no la retiene sería totalmente incapaz de ver”.
  - “No podemos ver al hombre invisible porque la invisibilidad depende de la acción que producen los cuerpos, pueden absorber, reflejar o refractar la luz. Y si un cuerpo no absorbe, ni refleja, ni refracta la luz, no puede ser visto”.
  - “No se puede ver porque logró que la luz no rebotara en él. Él sí nos puede ver pero difusos porque su sistema óptico es invisible y tal vez nos vea muy luminosos”.
- Afirman que los objetos que tienen mucha luz no se pueden ver: “No lo podemos ver porque la luz dentro de él no se escapa y tiene demasiada luz y por eso nuestra vista no es capaz de verlo”.

Ellos detectaron, a través de esta experiencia, como elementos necesarios para que se pueda dar el fenómeno de ver: la luz, el observador y el objeto a ser observado.

Cuando se les indagó en relación a cómo se relacionaban los tres elementos, muchos de ellos dijeron y se mantuvieron en el hecho de que la luz ilumina los objetos y los ojos tenían la capacidad entonces de verlos.

En este contexto explicativo, desde los procesos de representación que se hace de los fenómenos y sus relaciones, es posible avanzar hacia procesos de ampliación de la experiencia. Precisamente, las representaciones se van modificando en la medida que el conocimiento del fenómeno se va reorganizando, y ello es posible cuando el individuo cuestiona el fenómeno, le hace preguntas, modificando las condiciones en las cuales fue presenciado inicialmente, lo interviene y experimenta nuevas influencias, las cuales lo llevan a construir nuevas representaciones.

Se organizó una segunda actividad relacionada con el conocimiento de las sombras y su papel en la construcción del fenómeno de ver. Para ello se formularon las siguientes intenciones:

- A partir del reconocimiento de zonas de luz, zonas de penumbra y zonas de sombra, iniciar la explicación de la propagación de la luz.
- Involucrar en las reflexiones situaciones relacionadas con la magnitud *intensidad de iluminación*.
- De acuerdo con las representaciones que tienen los estudiantes de la interacción entre fuente de luz, objeto iluminado y observador del fenómeno, interpretar nuevas situaciones relacionadas con la propagación de la luz.
- Dar cuenta de las trayectorias de la luz en situaciones de diferente iluminación y con distintos objetos.
- Iniciar procesos de formalización y matematización a partir del estudio de los tamaños relativos de las sombras, las distancias entre fuente, objeto y observador, entre otras posibilidades.

El trabajo propuesto incluye elementos para proceder en la explicación de los fenómenos desde la experiencia, las representaciones, la ampliación de la experiencia orientada por la formulación de preguntas para proponer nuevas formas de representación.

“Estas formas de proceder en el estudio y las explicaciones de los fenómenos hacen énfasis en la necesidad de una organización de la experiencia, una elaboración de preguntas y una comprensión y construcción del fenómeno que permita la conexión entre los lenguajes, los fenómenos y los ámbitos de explicación” (Sandoval, 2008: 16).

Ello es viable siempre y cuando se considere la ciencia y sus procesos como una construcción cultural, desde la cual la búsqueda de una verdad última no es el sentido del

trabajo disciplinar ni, menos aún, debería ser por parte del docente que orienta el trabajo escolar en ciencias.

Ello hace necesario para el docente en ejercicio conocer las preguntas, las estrategias, la forma de comprender los fenómenos, los intereses y el contexto socio-cultural de quienes estudiaron los fenómenos en primera instancia, o desde sus fundamentos, para poder comprender las representaciones organizadas por ellos acerca del fenómeno.

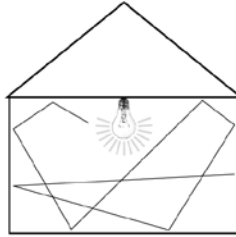
Los estudiantes realizan la guía tomando como base su experiencia, lenguaje y conocimientos recogidos con anterioridad, y construyen las explicaciones haciendo uso de fotografías, narraciones, tablas, dibujos y otras formas de representación asociadas a las observaciones del momento en que hacen el experimento. Es decir, el nivel de formulación es fundamentalmente descriptivo y se centran en el uso de los sentidos y las percepciones y no realizan procesos de generalización.

Incorporan luz, fuente y observador como elementos de análisis del fenómeno, y acotan el fenómeno cuando se hacen indagaciones sobre la iluminación y el efecto que producen en los objetos y las sombras de ellos, estableciendo relaciones cualitativas y cuantitativas, distinguiendo características de los objetos iluminados, como visibilidad, opacidad, transparencia, etc., así como transformación del fenómeno al modificar las condiciones del experimento, en niveles temporales y espaciales, pues observan el cambio en el tamaño de las sombras y las imágenes al realizar movimientos en las fuentes de luz, los observadores, entre otras.

El fenómeno estudiado se va acotando en la medida que la atención se centra en determinados aspectos de él. Por ejemplo, al hablar de iluminación se centra la mirada en los efectos de la luz en los cuerpos iluminados. Así mismo, se comienza un proceso de diferenciación en la construcción de las explicaciones al incorporar medidas de longitudes en las imágenes y las sombras, o al tratar de identificar alguna regularidad en la medida de los ángulos al usar los espejos.

Algunos estudiantes realizan una ampliación de su experiencia transfiriendo situaciones de otros contextos para explicar el fenómeno de propagación de la luz. Por ejemplo, hacen una analogía con el rebote continuo de una pelota que choca contra las paredes de un cuarto, cambia de dirección y nuevamente choca con las paredes, y así sucesivamente.

**Imagen 2.** “La luz rebota hacia todos lados como se ve en las líneas”.



En cuanto a los procesos de matematización llevados a cabo por los estudiantes, se puede decir que se realizaron comparaciones, se definieron variables y se establecieron relaciones entre ellas a través de agrupaciones, ordenaciones y búsqueda de regularidades. Durante el trabajo se evidencia la realización de mediciones directas, aunque no se llegó a la construcción de magnitudes como la de iluminación.

Algunos grupos propusieron un modelo para la propagación de la luz, donde incluyen como variable la intensidad de la luz. Entre las propuestas que realizaron, destacamos las siguientes:

- “La luz se propaga hacia todo lado en un lugar definido y cuando choca con la pared u objetos rebota la luz, alumbrando así un lugar aunque unos lugares quedan más luminosos que otros, ya que la luz llega cada vez con menos fuerza o intensidad”.
- Otro grupo realizó un dibujo sobre su modelo y propuso una equivalencia con el rebote de una pelota: “La luz se propaga como cuando uno manda una pelota de goma con fuerza rebotando hacia todos lados golpeando todas las paredes y cubriendo todo el espacio, pero cada vez que golpea contra algo pierde su fuerza, velocidad e intensidad hasta que llega un instante que se detiene, y esto sucede con la luz que rebota a lugares de mayor distancia y llega con menos intensidad y fuerza, por esto hay lugares más iluminados que otros”.

## La diferenciación y no diferenciación como contextos para la enseñanza de las ciencias

Esta categoría tiene que ver más con la dinámica de construcción del fenómeno, porque las preguntas que se vuelven relevantes para los sujetos son las que hacen del fenómeno diferente y diferenciado de las construcciones de los otros sujetos, aunque el evento aparentemente sea el mismo. Por ello, mediante una especie de bucle (Chaparro, 1999: 45) se entra en un campo diferenciado, en diversos momentos:

- Al llevar al estudiante de su experiencia cotidiana, y en ocasiones no reflexionada para ser puesta en forma de lenguaje, hacia otros espacios de experiencia intencionada, donde se promueve el avance hacia lugares de reconocimiento de sus saberes al respecto del fenómeno, diferenciándose de las representaciones que construyen los otros. Por ejemplo, para el caso de la fenomenología asociada al ver, cuando se exigen formas de argumentación en relación con la posibilidad de ver algo ubicándose en un sitio oscuro, la persona debe comenzar a involucrar aspectos relacionados con la iluminación, los cuales comienzan a diferenciarse;
- Mediante procesos de experimentación, al proponerle preguntas, situaciones y problemas de carácter ficticio o real, o llevando a cabo algún tipo de artificialización para preguntar al fenómeno y obtener explicaciones de eventos que en situaciones cotidianas no se discuten entre los individuos, o
- En el diseño de procesos de construcción de magnitudes o en procesos de clasificación, comparación y ordenamiento de cantidades, para avanzar en la comprensión del fenómeno.

Y nuevamente moverse en un plano no diferenciado, en el cual –para construir un discurso con los estudiantes frente a un fenómeno determinado– se parte de reconocer las concepciones y experiencias de ellos sobre el fenómeno o cuestión estudiada. Por ello las representaciones elaboradas por los estudiantes requieren de explicaciones y argumentaciones que dan sentido y significado, el cual se debe aprovechar para generar nuevas comprensiones sobre el fenómeno, las que deben ser socializadas, debatidas, etc. Estas explicaciones generalmente, se encuentran en un nivel de no diferenciación.

Algunos aspectos relacionados con esta categoría se manifestaron en las acciones llevadas a cabo por los estudiantes para responder preguntas relacionadas con el fenómeno, que se organizaron en una actividad final de retroalimentación.

En esta actividad los estudiantes están más centrados en el fenómeno, pues su lenguaje está más diferenciado. Utilizan representaciones gráficas y verbales para dar cuenta del fenómeno; tratan de justificar sus respuestas usando flechas, indicando dirección y sentido; cuando hablan de la propagación de la luz, en algunas explicaciones, se ubican en un marco de referencia espacial relativo a la situación, es decir, se piensan dentro del contexto y se apoyan añadiendo nuevos elementos a las gráficas presentadas, por ejemplo, fuentes de luz, comentarios, nuevos dibujos, etc.; varios agregan nuevas hojas donde realizan representaciones adicionales. Ello puede interpretarse como una acotación del fenómeno que permite centrarse en determinados aspectos de él, separando otros que para ellos no son relevantes o no aportan a la explicación de la situación.

Recurren a sus vivencias y experiencias para dar cuenta de las preguntas organizadas en la actividad, presentando ejemplos recogidos de las actividades anteriores, poniéndolos en juego para construir una explicación a la pregunta. Por ejemplo, muchos reconocen que la sombra no será nunca menor que el mismo objeto, relacionan las características de la sombra con las cualidades de la iluminación, etc.

Casi siempre, para explicar gráfica o verbalmente alguna situación, los estudiantes emplean la fuente, el objeto y el observador, independientemente de las relaciones que sean establecidas entre los tres elementos. Las relaciones son múltiples y diferenciadas, y se conservan algunas de las explicaciones dadas en un comienzo pero aportando nuevos argumentos para sustentarlas. Al comienzo no es tan evidente el papel de la fuente de luz dentro del fenómeno, pero al final la mayoría lo incluye dentro de sus observaciones. Con cada experiencia, situación o experimento adquiere más sentido, para los estudiantes, las relaciones que se dan entre los tres elementos.

Se realizan numerosas comparaciones en relación con intensidad de la luz, nitidez de la sombra, tamaño de las sombras, distancias, posiciones, direcciones, etc. Y en varios casos realizan ordenamientos de diferentes valores de una magnitud.

Relacionan variables y tratan de identificar algunos patrones y regularidades en ellas, por ejemplo, entre distancia de la fuente y tamaño de una sombra. Los estudiantes incorporan variables nuevas como la intensidad de la luz y la relacionan con la distancia; seguramente para ellos tiene más sentido la intensidad que otras variables propuestas dentro de la actividad.

Algunos combinan más de dos variables. Por ejemplo, en el caso de la sombra del rectángulo un estudiante afirma que “llegará un momento en que la sombra desaparece porque la luz de la linterna se va recogiendo y alejando”, lo cual puede orientarse hacia el trabajo con distancias e iluminación. En otros casos formulan una relación inversa entre la distancia y el tamaño de la sombra.

Las ideas que se manejaban inicialmente hacían referencia a lo sumo a una o dos variables. Estas se van ampliando, estableciendo nuevas condiciones y variables como, por ejemplo, frente a la propagación involucran otros aspectos del fenómeno para reconocer la forma en que lo hace, y correlacionan esta con otros fenómenos como el de las sombras, donde hacen énfasis en los obstáculos y en los sitios donde no llega la luz, así sea rebotando, definiéndose sitios oscuros o con poca iluminación.

El tránsito bidireccional de contextos de diferenciación a otros de no diferenciación permitió no solo la recuperación de la experiencia sino también la construcción de explicaciones cada vez más estructuradas y el uso de un lenguaje más diferenciado, que mostraron la transformación de esa experiencia frente al fenómeno de ver. Los primeros acercamientos que se realizaron fueron desde su experiencia cotidiana, pero en la medida en que aparecieron nuevas situaciones se fueron dotando de sentido y significado las representaciones sobre el fenómeno y se evidenció la necesidad de recurrir a nuevas experiencias intencionadas, que dieron cuenta de otras preguntas que surgieron, las cuales acarrearón nuevas explicaciones y nuevas preguntas. Esa dinámica refleja la relación que establece el estudiante con el fenómeno estudiado desde su propia construcción, haciendo del fenómeno algo diferente cada vez que se revisaba. También evidencia una comprensión y un compromiso con lo que está estudiando, pues sabe de qué se está hablando.

La forma de expresar ese nuevo fenómeno que emerge cada vez que es revisado, experimentado y explicado, produce nuevas dinámicas de representación, ya sean a nivel textual, gráfico, tabular, icónico, digital, etc., las cuales adquieren relevancia en el momento de dar cuenta de sus interpretaciones y los motiva a recoger y mostrar las nuevas relaciones establecidas con el fenómeno.

Al recurrir nuevamente a la experiencia desde el lenguaje y conocimiento construido en el proceso, se moviliza nuevamente la atención sobre el fenómeno tal como se presenta a los sentidos, en un proceso no diferenciado, que conlleva a la caracterización de nuevas cualidades en el fenómeno, que se comienzan a diferenciar en la medida en que se incorporan variables, comparaciones y relaciones entre ellas.

## **La ampliación de la experiencia desde la experimentación**

Este primer acercamiento al fenómeno, en la mayoría de casos, se puede llevar a cabo haciendo uso de los sentidos y las percepciones, sin necesidad de recurrir a montajes experimentales complejos que opaquen el sentido del ejercicio, y sitúa a los estudiantes en una relación más significativa con él. Al respecto Sandoval afirma que:

“Este es uno de los mayores requerimientos que comporta el componente de ciencias, no se solicita que se asuma un conocimiento, se solicita que se muestre



la experiencia desde la cual el estudiante considera que tiene unos marcos de referencia para que estos en su exhibición sean cuestionados e interrogados por el sujeto mismo. Esto es, la existencia está puesta en la comprensión e interpretación” (2008: 67).

En esta perspectiva, la experimentación parte de recoger la experiencia de los sujetos –la cual es fundamentalmente producto de su acción sobre el entorno y de carácter puramente cotidiano– y de enfocarse en una experiencia consciente e intencionada que se identifica con el experimento. Este puede interpretarse como una búsqueda de comprensión del fenómeno (Malagón, 2010: 33), que parte de la conceptualización sobre la experiencia cotidiana o intencionada, busca regularidades, obtiene conocimiento de la observación, organiza la experiencia, establece variables y las compara o correlaciona, visualiza situaciones inaccesibles desde la experiencia cotidiana, a las que no se le da atención en el momento en que se presentan o no se tiene organizada una explicación para dar cuenta de ellas.

Esta forma de concebir la experimentación involucra los aspectos formales de las ciencias con los aspectos experimentales (Malagón, 2010: 20) mostrando una relación estrecha entre lo conceptual y lo experimental:

“Aun la observación o registro de datos, que podrían señalarse como actividades puramente experimentales, van ligadas a referentes conceptuales que permiten decidir cómo organizar y disponer los aparatos y montajes experimentales, y determinar qué se quiere observar y medir, y cómo hacerlo. De otra parte, toda organización conceptual siempre tiene arraigo en alguna organización experiencial que puede ser producto de nuestra experiencia cotidiana o creada en situaciones particulares de experimento (Malagón, 2010: 24).

Es viable, entonces, desde la experimentación, abrir un camino hacia la comprensión del fenómeno y hacia la construcción de magnitudes, construyendo inicialmente unos criterios de clasificación, luego, estableciendo unos criterios de comparación y de ordenación para aproximarse a escalas de carácter métrico en las cuales se consideren la posibilidad de comparar “los atributos de los objetos, que permiten la distinción de mayor, igual o menor al ser comparados con otros similares” (Malagón, 2010: 27) y, posteriormente, reconocer en esta cualidad la posibilidad de responder el criterio de aditividad o no de la magnitud considerada.

De acuerdo con Sandoval (2008: 23), esta forma de abordar los estudios de los fenómenos “permite derivar criterios para la organización de las actividades en el aula de clase que buscan la resignificación de los problemas, las preguntas y los productos de la actividad científica a la luz de las intenciones, los conocimientos y las valoraciones que caracterizan los contextos locales particulares”. Desde este contexto el experimento adquiere un sentido de comprensión dentro de la actividad en la clase de ciencias y no se remite a la búsqueda de comprobaciones o validaciones de teorías presentadas *a priori*.

Algunas experiencias en ese sentido se desarrollaron con los estudiantes, como la de oscurecer completamente un salón. Ello generó no solamente acciones puramente prácticas, sino también involucró una serie de conceptualizaciones e intuiciones en relación con varios aspectos relativos al fenómeno, como por ejemplo:

- Selección y, en algunos casos, clasificación de los materiales de acuerdo con la cualidad de dejar pasar o no la luz, identificando materiales opacos, transparentes, traslúcidos, etc. Algunos trataron de usar papel corriente (periódicos, hojas de cuaderno, cartulinas de colores, etc.), pero reconocieron como mejor alternativa hacerlo con cartulinas negras.
- Reconocer la condición de que al tratar de oscurecer completamente el sitio se generan espacios por los cuales entra luz (como en el empalme de dos cartulinas o en el cierre de los bordes de las ventanas y los espacios en las puertas); la cual, a pesar de ingresar por una rendija o hendidura, hace que se ilumine un sector más amplio del cuarto. Esta observación permite hablar de trayectorias y propagación de la luz.
- El oscurecimiento del cuarto fue un proceso que demandó más de una sesión de clase, pues no fue posible oscurecer un cuarto con mucha iluminación, por la cantidad de material que demandaba hacerlo; hasta que se logró encontrar un cuarto que se pudo oscurecer completamente (en la medida de lo deseable), y mantenerlo así por varios días para realizar las otras experiencias planteadas en la guía. Muchos estudiantes repitieron la experiencia en su casa, en forma individual, pues no les alcanzó el tiempo para desarrollar todas las actividades planteadas.

En el proceso se observó, en los diferentes grupos y sujetos, la transformación de las explicaciones, así como también la emergencia de múltiples interpretaciones sobre el fenómeno de ver. Aunque siempre se referían a las mismas problemáticas, hubo una notable riqueza interpretativa.

El hecho de que los estudiantes formulen diferentes descripciones frente a un determinado aspecto del fenómeno no debe producir alarma sino, por el contrario, debe entenderse como una oportunidad para contrastar o debatir las diferentes perspectivas a través del experimento. No es necesario apresurarse a buscar las “respuestas” que se encuentran en los libros. Por ejemplo, en situaciones relativas a los espacios de iluminación se presentaron diferentes consideraciones en relación con las cualidades de las fuentes de la luz; ello abre un espacio de discusión y análisis que se puede orientar desde nuevos experimentos, propuestos y diseñados incluso por los estudiantes. Así se propician las condiciones para realizar nuevos experimentos, donde se construye el fenómeno de una manera más diferenciada.

También, y en esa misma dirección, se inició un proceso de construcción de magnitudes al realizar clasificaciones, comparaciones y ordenamientos, asociados a la distinción de las cualidades inherentes a uno o varios aspectos del fenómeno.

El experimento en esta propuesta aparece como una necesidad para responder a preguntas sobre cómo se puede caracterizar más el fenómeno, debido precisamente a las múltiples interpretaciones que emergen frente a una situación determinada. Ello en razón a que dentro de las representaciones organizadas por los estudiantes para mostrar relación o dependencia entre variables, regularidades, estructuras, procesos o secuencias en el fenómeno, pueden identificarse algunas cualidades que ahora ellos distinguen y antes no tenía sentido preguntárselas sin un campo experiencial de referencia.

El experimento se emplea especialmente para comprender el fenómeno a través de la ampliación de la experiencia; es decir, al desarrollar la actividad, el estudiante contrasta sus saberes con las observaciones que hace de las situaciones. A medida que va realizando las actividades construye nuevas explicaciones, por ejemplo, en cuanto a la propagación de la luz (idea trabajada en la primera guía), al establecer relaciones entre variables (i.e. tamaños) tanto a nivel de clasificaciones como comparaciones, así como al reconocer algunos patrones y regularidades del fenómeno, como el hecho de que la sombra nunca es más pequeña que el objeto, entre otros aspectos que permitieron transformar las explicaciones.

## A modo de propuesta pedagógica

De acuerdo con los planteamientos realizados, se propone abordar el estudio de las ciencias, en la educación básica, reconociendo en primera instancia un fenómeno

del cual pueda hacerse una construcción desde las explicaciones de los estudiantes, considerando un proceder fenomenológico en un ambiente de ciencia no diferenciada.

La ruta experimentada, luego de seleccionado el fenómeno, implica varios ciclos de reflexión e interacción de los participantes, en los cuales se hace:

- La organización de talleres en donde se explicita la experiencia de los sujetos y se promuevan indagaciones sobre el fenómeno.
- Una continua problematización a través de preguntas y nuevos planteamientos y situaciones.
- La socialización de las explicaciones dadas a los fenómenos y el debate entre pares.
- La construcción de representaciones o teorías que reestructuren el fenómeno.
- El desarrollo de procesos de experimentación para ampliar la experiencia y generar nuevos procesos de reflexión-interacción.

Tal ruta puede ser promovida para el aprendizaje de las ciencias en los ciclos de educación básica y media, dando un mayor horizonte de sentido al rol del estudiante dentro del proceso educativo.

“La enseñanza de las ciencias debe transformarse y cambiar de la observación o repetición de fenómenos y de aproximación a lenguajes, símbolos y resultados matemáticos y experimentales, convirtiéndose en un espacio para procurar que los individuos generen formas de comprensión de los mundos que habitan, esto es para poder tomar en consideración los fenómenos que se pueden presentar en la clase de ciencias y tratar de comprender las condiciones en las cuales son provocados. Esto implica que no solo se modifiquen los modelos de explicación, las concepciones y los lenguajes con los que se refieren los sujetos al mundo, sino que se construyan o consoliden formas de comprensión, argumentación y explicación, entre otros (Sandoval, 2008: 20).

Se quiere confrontar al estudiante con la organización experiencial que tiene de un campo fenoménico a tratar, para lo cual se parte de situaciones que permiten hacer explícitos sus formas de hablar y la estructura que tiene del fenómeno. Por ello, es necesario partir de un contexto no diferenciado de las ciencias, en el que la organización del taller no requiere la utilización de saberes formalizados o teorías determinadas,

ni proveer definiciones o conceptos como puntos de partida para el desarrollo del mismo. Solo se necesita colocar al estudiante en situación de reflexionar sobre el fenómeno, donde se le estimule a hacer explícitos los supuestos y a confrontarlos con los modos de hablar del fenómeno y con las maneras de actuar experimentalmente.

En esa dinámica de explicación, el papel del docente se torna más activo, no por la presentación de teorías o explicaciones al respecto sino por la manera como puede reformular preguntas sobre lo expresado por el estudiante, para exigir de parte de él la ampliación de sus explicaciones y la estructuración, en lo posible, de representaciones (públicas) del fenómeno.

“Estas formas de proceder en el estudio y las explicaciones de los fenómenos hacen énfasis en la necesidad de una organización de la experiencia, una elaboración de preguntas y una comprensión y construcción del fenómeno que permita la conexión entre los lenguajes, los fenómenos y los ámbitos de explicación” (Sandoval, 2008: 9).

La fase de trabajo en grupo de pares se vuelve esencial, en el comienzo del proceso, pues es una primera manera mediante la cual todos tienen algo que decir al respecto del fenómeno y da inicio, de manera inmediata, a la elaboración de argumentos, contrargumentos y formas diversas de explicar que, mediante la contrastación y el papel activo del docente, logran dinamizar el discurso y definir consensos entre los estudiantes. Para ello, la guía de trabajo debe incluir situaciones claramente abordables por todos los estudiantes; entre más sencilla sea la formulación de las preguntas y del problema, más riqueza se puede conseguir dentro de los grupos.

El contexto de no diferenciación que se escoge es el fenómeno asociado al ver; el cual, aunque denota de por sí múltiples rutas para ser abordado, puede ser comprendido desde la triada: fuente de luz-observador-objeto observado, cuando los cuestionamientos se centran en qué es lo que se requiere para ver. Se compromete una mirada fenomenológica debido a la experiencia que todos los individuos tienen del fenómeno, la cual es poco explorada en la educación. Para los jóvenes y niños, resulta bastante comprometedor organizar explicaciones al respecto.

No es necesario hacer un recorrido con los estudiantes similar al que debe desarrollar el docente, quien requiere con anterioridad haber recontextualizado el fenómeno<sup>41</sup>

---

41 En este sentido Sandoval (2008: 71) comenta que “Este tipo de recontextualización renuncia a la idea de traer lo que ciertos autores (científicos) y textos conciben acerca de fenómenos o problemáticas particulares, de hacer seguimientos cronológicos de la evolución de una noción o concepto específico, o de esclarecer los obstáculos por los cuales las diferentes

siguiendo un proceso posiblemente más extenso, si recurre a los análisis histórico-críticos, para conocer el fenómeno y buscar un proceder fenomenológico. Ello no con el fin de mostrar a los estudiantes su conocimiento al respecto, sino para poder interactuar con ellos promoviendo la discusión con nuevas situaciones, para confrontar las explicaciones dadas por los estudiantes y para problematizar la forma como vienen comprendiendo el fenómeno desde su propia experiencia.

En general, la construcción del fenómeno y la ampliación de la experiencia moviliza todo un conjunto de características valiosas para el trabajo escolar en las cuales los estudiantes se apropian del fenómeno y comienzan a encontrar herramientas para hablar de él con sentido, puesto que proviene de su “experiencia vital de relación con la cotidianidad, con una sociedad y con una cultura”, además de las “diferentes narraciones que de conocimiento circulan” (Hacking, 1996: 168).

A través de las representaciones que organizan la experiencia y dan cuenta del fenómeno analizado se logrará identificar también la dinámica social de construcción de explicaciones, en las cuales “... no hay criterios para decir qué representación de la realidad es mejor” (Hacking, 1996: 171). De manera que los aspectos sociales de intersubjetividad conllevan a comprender mejor la forma como se desenvuelven los grupos de estudiantes dentro de la escuela, alrededor de una explicación sobre un fenómeno particular.

El papel del experimento en los espacios escolares no es, entonces, el referido a un momento particular dentro del desarrollo del currículo de ciencias, al cual se acude para corroborar o confirmar algunas afirmaciones (generalmente, presentadas en forma teórica en clases magistrales), sino es una mediación para la construcción de explicaciones, en las cuales se recoge la experiencia, lenguaje y conocimiento de los individuos y se reorganizan las representaciones y comprensiones del fenómeno en forma dinámica durante el proceso de experimentación.

Finalmente, es importante resaltar que esta forma de trabajar abre espacios para que las relaciones entre estudiantes, docentes, conocimiento y contexto escolar puedan apuntar a la transformación del ambiente escolar, donde los sujetos se vuelvan pares, construyan conocimiento dotándolo de sentido, establezcan nuevas dinámicas convivenciales y, en general, se comprometan en la transformación de la escuela.

---

*teorías o concepciones del mundo físico no se han podido transmitir, difundir o asimilar en un contexto socio-cultural como el nuestro, para el caso de las reflexiones sobre la enseñanza de las ciencias. Más bien se trata de poder establecer un diálogo con los autores, un diálogo que posibilita una estructuración particular de toda la clase de fenómenos abordados y no de un concepto específico y puntual”.*

## Bibliografía

- Arcá, M., Guidoni, P. & Mazzoli, P. (1990). *Enseñar Ciencia. Cómo empezar: reflexiones para una educación científica de base*. Barcelona: Paidós.
- Chaparro S., C. I. (1999). *Procesos secuenciales de diferenciación-no diferenciación en la historia de la ciencia. Estudio adelantado en torno a una idea, la combustión*. Tesis de maestría en Docencia de la Física, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá.
- Glaserfeld, E. (1990). Aspectos del constructivismo radical. En Pakman M. (comp.). *Construcciones de la experiencia humana*. Vol I. Trad. José Ángel Álvarez (1996). Barcelona: Gedisa.
- Hacking, I. (1996). *Representar e Intervenir*. México: Paidós.
- Heidegger, M. (1923). *Hermenéutica de la facticidad. Segunda parte: "La vía fenomenológica de la hermenéutica de la facticidad"*. Recuperado de <http://www.heideggeriana.com.ar/hermeneutica/indice.htm>. Revisado el 5 de marzo de 2012.
- Lyotard, J. F. (1954). *La fenomenología*. Barcelona: Paidós.
- Malagón, J., Ayala, M. & Sandoval, S. (2011). *El experimento en el aula: comprensión de las fenomenologías y construcción de magnitudes*. Bogotá: CIUP, Universidad Pedagógica Nacional.
- Sandoval O., S. (2008). *La comprensión y construcción fenomenológica: una perspectiva desde la formación de maestros de ciencias*. Tesis de maestría en Educación, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá.





# Capítulo 6.

## Estrategias en el aula: de la experimentación a la formalización de los fenómenos naturales

Yessica Viviana Barragán Orjuela<sup>42</sup>

María Helena Ramírez Acosta<sup>43</sup>

### Resumen

El proyecto de investigación “*La experimentación en el aula y los procesos de formalización*” constituye una propuesta en el campo de la enseñanza de las ciencias naturales, que tiene como objetivo principal proponer nuevas alternativas de enseñanza que permitan disolver la oposición entre la visión cualitativa y cuantitativa que surge en los estudiantes al momento de abocarse al estudio de una cualidad o fenómeno en particular. Lo que se quiere destacar en este proceso de acercamiento e interacción con el fenómeno, a través del proceder experimental, es la forma como los estudiantes construyen un conocimiento amplio y significativo.

En el quehacer pedagógico se ha generalizado la concepción de que la formalización de los fenómenos naturales es un aspecto que reviste gran dificultad en el aprendizaje de los estudiantes. Esta concepción parte de la experiencia de los educadores en ciencias y plantea una problemática que se presenta tanto en la educación media como en la educación superior. Dicha problemática ha llevado a algunos a promover la presentación de los conceptos científicos prescindiendo de la formalización matemática. Sin embargo, esta opción añade otra dificultad: al desligar las ciencias naturales de su estructura formal se corre el riesgo de quitarles su estructura de razonamiento

---

<sup>42</sup> Estudiante Licenciatura en Física, auxiliar de investigación del proyecto “*La experimentación en el aula y los procesos de formalización*”, Universidad Pedagógica Nacional. [dfi753\\_ybarragan@pedagogica.edu.co](mailto:dfi753_ybarragan@pedagogica.edu.co)

<sup>43</sup> Estudiante Licenciatura en Física, auxiliar de investigación del proyecto “*La experimentación en el aula y los procesos de formalización*”, Universidad Pedagógica Nacional. [dfi795\\_mr Ramirez@pedagogica.edu.co](mailto:dfi795_mr Ramirez@pedagogica.edu.co)

lógico, apartándolas del engranaje metodológico que por mucho tiempo ha acompañado a las ciencias formales. La “desmatematización” de las ciencias naturales, lejos de convertirse en una solución, se suma a las dificultades presentes en los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias (Rosenquist, M. L. & McDermott, L. C., 1987; citado por Ayala *et ál.* 2008: 7).

Las ideas desarrolladas en el grupo de investigación se han puesto en juego en escenarios tales como la electiva *El experimento en la clase de ciencias: aportes desde los análisis históricos*, dirigida a estudiantes de las licenciaturas de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad Pedagógica Nacional. Se hace énfasis en el papel que desempeñan las prácticas experimentales en los procesos de enseñanza/aprendizaje de las ciencias naturales y los imaginarios o ideas que están en la base de tales concepciones.

En relación con lo anterior, el presente capítulo expone la forma como se configuró el espacio electivo<sup>44</sup>, integrando una serie de actividades que instan a los estudiantes a reconocer la necesidad de llevar a cabo procesos experimentales, en tanto se convierten en una alternativa para comprender los procesos e interacciones que acaecen en los fenómenos naturales, dejando de lado la creencia de que estos ya están lo suficientemente explicados en la literatura, lo que lleva a cuestionar el carácter lineal y acabado de la ciencia que se enseña.

Además, se expone la manera como dichas actividades fueron abordadas por los estudiantes, mostrando las dificultades ligadas a la experimentación realizada por ellos y recogiendo los análisis que hacen al final de cada actividad.

Al final del proceso, los estudiantes manifestaron la ventaja que supone ligar los componentes teórico y experimental, sin supeditar uno al otro como comúnmente se acostumbra. Dicho cambio de visión frente a la actividad científica y al quehacer docente permite emprender procesos reflexivos en torno a estas actividades y, por ende, a las diferentes prácticas que se despliegan en las clases de ciencias, las cuales surgen como un intento de posibilitar una mayor comprensión de un fenómeno natural dado.

---

44 En este espacio electivo las autoras de este texto han acompañado a los coordinadores del espacio académico y, como auxiliares de investigación, han recogido, organizado y sistematizado los productos del seminario: reportes de las actividades de taller, sustentaciones y ensayos escritos, principalmente. En este documento se presenta la visión que se tiene de los sentidos y significados construidos a lo largo de dos cursos diferentes.

## Introducción

En aras de hacer de la educación en ciencias un proceso que permita al estudiante convertirse en sujeto activo de su aprendizaje y en pro de favorecer la comprensión de los fenómenos de estudio, el proyecto de investigación *La experimentación en el aula y los procesos de formalización* –que lideran los profesores José Francisco Malagón Sánchez, Sandra Sandoval Osorio y María Mercedes Ayala Manrique, de la Universidad Pedagógica Nacional– adelanta un estudio en relación al papel que cumple el experimento en las clases de ciencias, centrándose en la construcción de las fenomenologías de estudio y en la reflexión sobre los procesos de descripción, interpretación y comprensión, con el fin de reconocer sus aportes en las dinámicas que se instauran en las clases de ciencias. Lo anterior posibilita que los estudiantes y futuros docentes de ciencias naturales pongan en marcha propuestas específicas y contextuales de enseñanza.

El presente capítulo tiene como finalidad recoger, exponer y analizar de manera global la ruta metodológica que ha planteado y llevado a la práctica el equipo de investigación, con diferentes grupos de estudiantes de pregrado de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad Pedagógica Nacional, en diferentes semestres académicos desde el año 2010.

Esta ruta hace énfasis en la forma que abordan los educandos el estudio de diferentes fenomenologías y los mecanismos puestos en acción por estos, que les permiten organizarlas y formalizarlas.

El problema que aquí se pone de manifiesto evidencia la importancia, en el ámbito de la enseñanza de las ciencias, de tener formas de razonar sobre las fenomenologías identificadas (Romero, 2002; en Ayala *et ál.*, 2008: 107), o dicho de otra forma, plantea la necesidad de vincular la construcción de explicaciones a la actividad experimental y a los procesos de formalización. La investigación sigue vigente dado que en la medida que se han abordado estas relaciones han emergido nuevas e interesantes preguntas alrededor de las condiciones cognitivas y pedagógicas para la enseñanza de las ciencias.

## El espacio electivo

### Intencionalidad del espacio electivo

Dados los avances del proyecto de investigación *La Actividad Experimental en la Enseñanza de las Ciencias y la Experimentación en el Aula y los Procesos de Formalización*, se hacen una serie de consideraciones que tienen un valor pedagógico, didáctico y epistemológico para la formación de los docentes en ciencias y que han permitido guiar las diferentes fases de la investigación, al igual que los espacios electivos donde ha sido posible la interacción mancomunada con los estudiantes, estas se presentan en los siguientes puntos:

- a. Generalmente, se piensa que la relación entre la ciencia y la actividad experimental es isomorfa con la relación entre la enseñanza de las ciencias y la actividad experimental que en ella se da, incluso se considera que a la ciencia le es natural la actividad experimental. Sin embargo, entrar a revisar el tipo de reflexiones que sustentan estas afirmaciones pone en evidencia que dichas relaciones no son unívocas y que están cargadas de presupuestos epistemológicos que es necesario explicitar.
- b. Una reflexión sobre la actividad experimental en la enseñanza de las ciencias permite concebir al experimento como una actividad íntimamente ligada a la organización de nuevas maneras de explicación y comprensión de los fenómenos y, además, posibilita elaborar propuestas de trabajo para las clases de ciencias. Como consecuencia de este campo de reflexiones se deriva una influencia en las concepciones de conocimiento que se están formando en los licenciados de las diferentes áreas de las ciencias naturales y en las acciones didácticas que se formulan con ellos de manera contextualizada.
- c. Al hacer una revisión reflexiva acerca de la literatura vigente sobre esta problemática, se encuentra que en los ámbitos escolares y en la literatura de educación científica reiteradamente se hace una crítica frente a los procedimientos experimentales estandarizados y repetitivos por considerarlos no apropiados en una perspectiva actual de la enseñanza de las ciencias, pues se afirma que, por una parte, se afianza una perspectiva empirista de la construcción de conocimiento científico y, por otra, se sobrevalora el carácter instrumental de la enseñanza de las ciencias. Sin embargo, son pocas las rupturas que se han dado con este tipo de abordajes, donde la experimentación es útil para recrear algún tipo de procedimiento, concepto o teoría científica y, en consecuencia, se reducen los procesos de comprensión de la actividad experimental en las ciencias y se desvirtúa la importancia e influencia social y cultural que la ciencia tiene en las sociedades modernas y contemporáneas. Se considera por tanto que la actividad experimental debe dejar de ser una actividad estandarizada, contingente, circunstancial o improvisada en las clases de ciencias.

El grupo de investigación cree pertinente propiciar espacios para asumir el problema de la actividad experimental en el sentido de *entender el experimento en estrecha relación con las construcciones conceptuales*, en otras palabras, la actividad experimental debe ser considerada un proceso intencional imposible de desligar de la educación en ciencias, en la que se privilegie la construcción de explicaciones y comprensiones acerca de los fenómenos abordados y en la que se requieren, además, revisiones sistemáticas de las elaboraciones que se van produciendo en la clase de ciencias.

## Descripción del espacio electivo

A partir de las anteriores intencionalidades se propone el espacio electivo *El experimento en la clase de ciencias: aportes desde los análisis históricos*, para la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad Pedagógica Nacional. De este espacio han sido partícipes diferentes grupos de estudiantes de pregrado de dicha Facultad, lo que ha permitido nutrir los análisis que se hacen al interior del mismo, pues los campos disciplinares en los cuales se forman estos son muy variados, encontrándose estudiantes de las licenciaturas de Física, Química y Biología principalmente, además de algunos de las licenciaturas de Tecnología y Matemáticas.

Las actividades que se adelantan al interior de la electiva giran en torno a los siguientes aspectos:

- a. Construcción de actividades específicas que permitan pasar de un estadio cualitativo del estudio de las fenomenologías a la construcción de magnitudes, unidades de medida y relaciones entre estas.
- b. Producción de elementos teóricos que permitan configurar rutas en las cuales la actividad experimental aporta a los procesos de formalización y estos, a su vez, sugieren nuevas fenomenologías a estudiar.
- c. Diseño de actividades de aula para las clases de ciencias en educación básica, que muestren diferentes niveles de concreción de las reflexiones teóricas acerca de la relación experimento ↔ formalización.
- d. Organización y realización de actividades de socialización de los hallazgos de la investigación.

De esta forma, las diferentes actividades mencionadas, se centran básicamente en tres núcleos problemáticos, como se ilustra en el siguiente esquema:

**Tabla 1.** Esquema del núcleo de actividades del espacio electivo.

Núcleo problemático	Metodología empleada	Registros para la sistematización
El vínculo entre la actividad experimental, la organización de la experiencia y los procesos de formalización de las explicaciones.	Taller de exploración y definición de cualidades que permiten organizar diferentes sustancias.  Plantear una propuesta experimental que dé cuenta de la cualificación y cuantificación de una cualidad escogida.	Diseños experimentales realizados por los grupos de estudiantes.  Informes analíticos presentados por los participantes.
Elementos para el estudio de caso de la formulación del pH.	Organización de las cualidades ácidas / básicas de diferentes sustancias con respecto a diferentes efectos: cambio de coloración de sustancias naturales, conductividad eléctrica en solución acuosa, diferencia de potencial escogiendo una sustancia de referencia o un sistema electroquímico de referencia.	Registros escritos de los diferentes momentos de las actividades desarrolladas.  Escrito final individual sobre las elaboraciones desarrolladas acerca de la acidez de las sustancias.
Elementos para el estudio de caso de los fenómenos térmicos y la temperatura.	Diseño y calibración de termómetros basados en diferentes propiedades termométricas como: la dilatación de los líquidos o los gases, la presión de los gases, la dilatación de los sólidos, la diferencia de potencial de una junta de metales (termopila).	Registros escritos de los diferentes momentos de las actividades desarrolladas.  Balance final sobre las implicaciones de la construcción de la temperatura como una magnitud.

Estas actividades incluyen la revisión de bibliografía, talleres de diseño y construcción de aparatos de medida, la elaboración de escritos y propuestas didácticas basadas en las discusiones realizadas.

Como actividad final, cada grupo de estudiantes escoge una cualidad específica, construyendo una fenomenología y emprendiendo así la tarea de caracterizarla y formalizarla a partir del diseño y realización de diferentes experiencias, las cuales implican la construcción de aparatos y unidades de medida. Entre los fenómenos escogidos se encuentran básicamente los siguientes:

- Flotación de los cuerpos.
- Fenómenos electrostáticos.
- Viscosidad de las sustancias.
- Rapidez de las transformaciones químicas.

## Consideraciones generales

Puede apreciarse, entonces, que durante el desarrollo de la electiva se propusieron diferentes actividades entre las que se destaca un primer análisis sobre la acidez y basicidad de las sustancias, con la idea de construir el pH como una magnitud que organiza estos fenómenos y permitir la construcción de instrumentos de medida para dicha magnitud. También se planteó la organización de los fenómenos térmicos, iniciando con una primera ordenación en términos de qué tan frío o qué tan caliente se encuentra un cuerpo o sustancia, de acuerdo a un determinado punto fijo hasta la construcción de escalas de temperatura.

Además del desarrollo experimental, y como actividad relevante, algunas sesiones se dedicaron a la socialización ante el curso de los avances y resultados obtenidos por cada grupo. Ello fue sumamente enriquecedor para cada uno de los participantes, ya que la retroalimentación se nutrió desde diferentes puntos de vista y las observaciones grupales buscaron mejorar o replantear los montajes y procedimientos experimentales, todo con el fin de hacer más precisa la construcción de explicaciones del fenómeno vivenciado.

El proceso descrito ha permitido establecer y diferenciar las representaciones y afirmaciones que los estudiantes de ciencias hacen frente a las diferentes problemáticas convertidas en objeto de estudio. En relación a la organización de fenomenologías, se acude a realizar dibujos, diagramas, afirmaciones que resumen o argumentan una idea, las cuales son consideradas la expresión de las múltiples relaciones que surgen en torno a la experimentación como, por ejemplo, los modos de hablar acerca de la forma de conocer y la experiencia que se ha adquirido previamente, aspectos en los que se ha interesado el grupo de investigación.

## Organización y análisis de las primeras actividades desarrolladas con los estudiantes

Las primeras actividades que se plantean al interior de la electiva sugen como la antesala hacia la caracterización de diversos fenómenos. Con estas se pretende que

los estudiantes se involucren en la formulación de preguntas problemáticas y en el planteamiento de explicaciones que permitan su acercamiento hacia la comprensión de aquello que deciden estudiar o analizar.

Con el desarrollo de dichas actividades se busca que a medida que los estudiantes logran realizar clasificaciones y ordenaciones, hacen la construcción de una escala de medida, establecen una unidad y un instrumento de medida, también puedan establecer nuevos roles para la actividad experimental en los procesos de enseñanza de las ciencias. Con ello se busca, además, que vivencien la actividad científica como una actividad humana donde, antes que concebirla como procesos acabados, encuentren diversas formas de estudiar un fenómeno o campo fenomenológico.

En particular, con las cualidades de la acidez, la basicidad y la temperatura, los estudiantes tienen la oportunidad de evidenciar diferentes formas de caracterizar y formalizar fenómenos, sin tener que limitarse a las explicaciones ya dadas; incluso, en el mejor de los casos, es posible que las complementen, lo que permite que dichos fenómenos adquirieran un mayor significado en sus vidas.

En los siguientes apartados se muestran algunos registros textuales y gráficos, que los estudiantes plasmaron en sus procesos sobre el estudio de la acidez de las sustancias y de la temperatura, así como una breve reflexión de los procesos experimentales llevados a cabo por cuatro grupos de trabajo.

## El caso de estudio de la acidez

Para el estudio de los fenómenos de acidez de las sustancias se configuraron tres actividades. Las intencionalidades de cada una de estas se consignan a continuación:

- Actividad 1. Hacer una primera indagación sobre las cualidades de lo ácido y lo básico en las sustancias y establecer un primer acercamiento a las cualidades de acidez y basicidad haciendo uso de algunos indicadores con sustancias conocidas.
- Actividad 2. Organizar la cualidad de lo ácido y lo básico en torno a diferentes sustancias, teniendo como criterio el cambio de coloración de sustancias naturales, la conductividad eléctrica en soluciones acuosas y la diferencia de potencial al escoger una sustancia o un sistema electroquímico como referencia.
- Actividad 3. Elaborar un informe final que dé cuenta de los resultados obtenidos a través de las prácticas experimentales, exponiendo las diferentes reflexiones y análisis de los procedimientos llevados a cabo.



## A. Grupo 1

### Registros textuales

... Hasta el momento solo se hace una clasificación desde el punto de vista referente a indicadores como: repollo morado, curry, fenolftaleína, rojo congo y pétalos de rosa, en este sentido solo se puede generar una clasificación a nivel observable.

Se hace necesario buscar otro mecanismo que permita una mejor organización y en la que no interfirieran características físicas de las sustancias como su tonalidad. Para ello se propone medir el voltaje de cada sustancia.

Ya entendido qué es el pH, se tratará de generar una ordenación de sustancias respecto a su acidez y basicidad.

Debido a la diferencia en la fuerza de los ácidos, esta se puede cuantificar mediante la medida de la conductividad eléctrica de sus respectivas disoluciones acuosas; cuanto más fuerte es un ácido mejor conduce la electricidad.

En este grupo se logra hacer una clasificación de lo ácido y lo básico a partir de las observaciones cualitativas y se pone de presente la necesidad de construir explicaciones a partir de patrones de medida cuantitativos.

En general, hay confusión entre la medición de la diferencia de potencial y la de corriente eléctrica para diferenciar entre los comportamientos ácidos y básicos de las sustancias.

## B. Grupo 2

### Registros textuales

La coloración de los indicadores puede constituir una forma selectiva o discriminativa para discernir las características de una sustancia en relación a su basicidad o acidez.

Con respecto a la primera actividad observamos el viraje de color que tienen diferentes indicadores según la acidez y basicidad de las sustancias, así como la relación entre la intensidad del color y la concentración de la solución.

Podemos observar que la diferencia de potencial tiene relación directa con la acidez y basicidad de las sustancias, debido a que los resultados de estas dos pruebas halladas en la práctica son similares para sustancias básicas y ácidas.

Los estudiantes de este grupo asocian el patrón de coloración inicial de los indicadores como variables del proceso experimental para caracterizar las cualidades de lo ácido y básico en las sustancias.

Se comienza a construir una organización propia desde lo observable a nivel macro, es decir a partir de ciertas propiedades que son fácilmente identificables.

Al establecer un patrón de organización, los estudiantes relacionan su propia construcción con los diferentes resultados obtenidos, o con los diferentes momentos del proceso.

### C. Grupo 3

#### Registros textuales

Los indicadores nos permiten clasificar las sustancias como sustancias ácidas o básicas, sin embargo no es posible determinar un grado de basicidad o acidez con esta clasificación. Por tal razón, también se utilizan mediciones [...] como la diferencia de potencial o la conductividad eléctrica; pero para analizar esta propiedad es necesario tener en cuenta algunos conceptos como la capacidad de disociación de los ácidos y de las bases, ya que de esta depende la conductividad eléctrica y la diferencia de potencial.

Las sustancias con mayor conductividad eléctrica presentan mayor capacidad de disociación y, por lo tanto, se consideran ácidos y bases fuertes.

Las sustancias que presentan mayor conductividad eléctrica, a su vez van a presentar un valor bajo de resistencia ya que permiten un mayor flujo de corriente.

En este caso, los estudiantes inician una primera ordenación o clasificación sobre las cualidades de acidez y basicidad probando algunos indicadores con diferentes sustancias; ello les permite establecer una escala de sustancias más ácidas y más básicas utilizando como parámetro la coloración, sin embargo no son detallados en la especificación de dicha escala.

Posteriormente utilizan como criterio de ordenación de lo ácido y lo básico la conductividad eléctrica de las sustancias, al medir tanto la corriente eléctrica como la resistencia de estas.

Sin embargo, los análisis no aclaran de qué forma la conductividad se convierte en un criterio de ordenación, pareciera que el interés es hacer el cálculo y obtener un resultado numérico, pero ello no da cuenta de la finalidad de la experiencia ni de lo ocurrido en el proceso.

Posteriormente, teniendo en cuenta una cierta cantidad de sustancia, miden la diferencia de potencial al estar en contacto, por medio de un puente salino, con una sustancia de referencia como el ácido clorhídrico.

Los anteriores procedimientos experimentales permiten resaltar la utilización de una sustancia de referencia para organizar el grado de acidez y basicidad. Sin embargo, de acuerdo a los análisis que presentan los estudiantes, estos parámetros dan cuenta de algunas sustancias más ácidas y más básicas; pero aun así no se logra precisar cuánto más ácidas o cuánto más básicas.

Adicionalmente, en los análisis se evidencia una dificultad para lograr establecer relaciones, por ejemplo, entre las medidas eléctricas (conductividad/diferencia de potencial) con las colorimétricas (indicadores).

#### D. Grupo 4

##### Registros textuales

En la ordenación establecida a partir de los valores obtenidos en la diferencia de potencial, los valores más altos son los más básicos y los valores más bajos son los más ácidos.

En la ordenación establecida por los indicadores en las sustancias se observa que los colores como rojo y amarillo, y sus aproximaciones, son ácidos y en cuanto a los colores que tienden a verde y azul son básicos, y finalmente el tono morado indica un neutro.

Se tuvieron algunas incertidumbres durante el desarrollo de la práctica con los indicadores, ya que se presentaban algunos colores distintivos y otros no característicos, lo que dificultó su ordenamiento; pero al desarrollar cierta habilidad con otros indicadores se logró el objetivo final.

En el procedimiento experimental los estudiantes reconocen el uso de indicadores, la medida de la conductividad y de la diferencia de potencial de las sustancias como indicadores métricos de la acidez. En ese sentido intentan elaborar escalas de medida que den cuenta de lo que se observa a nivel macro. Al igual que el grupo anterior establecen diferentes escalas de ordenación donde ubican sustancias más ácidas y más básicas según los parámetros colorimétricos y eléctricos antes descritos; pero ello, nuevamente, no garantiza cuánto más ácida o más básica es una sustancia de acuerdo a algún referente específico, es decir, la magnitud todavía no se especifica.

Aunque se hace un esfuerzo por construir una escala de medida de la acidez, no es muy claro el criterio utilizado para hacer las ordenaciones que se presentan.

En síntesis, los distintos grupos logran hacer ordenaciones de las sustancias y establecer diferentes formas de llegar a estas ordenaciones, pero se hace necesario seguir tratando este problema para que se logre consolidar una unidad de medida y se pueda pasar de la construcción de una escala de ordenación a una escala de medida. A pesar de esta dificultad, la referencia que se logra a la acidez ahora se hace en términos de los efectos que se visibilizan de las interacciones en las que participan las sustancias.

**Registros esquemáticos o fotográficos**

Construcción de referentes colorimétricos


	Tubo #2	Tubo #3	Tubo #1	Tubo #4	Tubo #5	Tubo #6	Tubo #7
Indicadores	3 gotas de HCl	5 gotas de Acido Acético	10 gotas de HCl	Agua destilada	3 gotas NaOH	5 gotas NaOH	10 gotas NaOH
Fenolftaleína							
Pétalos de rosa							
Repollo morado							
Curry							
Rojo Congo							

└──────────────────┬──────────────────┘


Sustancias ácidas
Sustancias base


Clasificación con indicadores colorimétricos




Tubo 7




Tubo 6




Tubo 5




Tubo 4



Tubo 3



Tubo 2



Tubo 1

### Registros esquemáticos o fotográficos

Medida de la conductividad eléctrica de diferentes sustancias para dar una ordenación de la acidez y basicidad de las sustancias



Sustancia	Conductividad (mA)
Café	50,3
Shampoo	84,4
Té	26,2
Leche	61,9
Limón	33,8
Vinagre	20,5
Jabón líquido	49,3
Ácido Clorhídrico	20,2
Desengrasante	47,9

Medida de la diferencia de potencial y relación con la acidez y basicidad de las sustancias





## El caso de estudio de la temperatura

Para el estudio de la temperatura se diseñaron tres actividades. Las intencionalidades de cada una de estas se consignan a continuación:

- Actividad 1. Construir y comparar diferentes escalas de medición de los estados térmicos. Para ello se debe analizar qué variables se tienen en cuenta para la construcción de una escala de medición, acorde con el instrumento de medida que se escoja.
- Actividad 2. Por medio de la experiencia con la cualidad térmica y con la escogencia de una variable termométrica en particular, ir precisando los distintos momentos en la construcción de escalas de temperatura y su vínculo con la comprensión de dichos fenómenos.
- Actividad 3. Determinar una escala de temperatura que dé cuenta de los diferentes estados térmicos que posee un cuerpo o sustancia, para ello se debe crear una escala de medida que posteriormente le permita establecer una magnitud que proporcione una explicación de dicha cualidad térmica.

## A. Grupo 1

### Registros textuales

Podemos observar que en efecto [un] circuito nos permite registrar ciertas variaciones, tomando como referencia la temperatura ambiente. Lo cual nos quiere decir que el voltaje funciona en este caso como la propiedad termométrica de este ejercicio.

Registrar el nivel del agua inicialmente como punto de referencia indica que el gas encerrado en el tubo de ensayo es susceptible a cambios externos de temperatura por el extremo de la manguera que no está sellado.

Al momento de organizar la experiencia se encuentra dificultad en la distinción de variables que hacen parte de la cualidad.

La escala de medida no proporciona una explicación de la cualidad. Sin embargo, permite hacer una primera ordenación o clasificación.

Se realiza una identificación y una escala organizada desde la experiencia a nivel cualitativo; sin embargo, al momento de definir la escala existen dificultades en la precisión.

## B. Grupo 2

### Registros textuales

Según la termodinámica, cuando dos objetos de diferente temperatura se ponen en contacto entre sí, el objeto de mayor temperatura transfiere energía al de menor temperatura, cambiando también algunas de sus propiedades.

Con el fin de calibrar el termómetro, se usa aire contenido en un tubo de ensayo (mismo volumen), el cual es sometido a diferentes temperaturas empleando hielo, agua a punto de ebullición y una mezcla de hielo con agua caliente. El tubo de ensayo está conectado a una manguera que contiene en su interior, agua azulada que permite observar el movimiento de la misma.

Al realizar la práctica experimental usando una mezcla entre agua hirviendo y hielo, se encontraron dos resultados diferentes, en uno de ellos el líquido decrece 2.2 cm. y en la siguiente asciende 22.5 cm.

El grupo parte de las nociones o concepciones de transferencia de energía para poder proponer una organización de la experiencia. Se realiza un trabajo exhaustivo experimental que busca obtener la mayor precisión en la toma de datos (calibración).

Desde las variables conocidas, como volumen, se realiza toda una reorganización de la experiencia. Se preestablecen puntos fijos que sirven de referencia para constituir la escala de medida como hielo, agua a punto de ebullición y una mezcla de cantidades conocidas de agua caliente con hielo.

Sin embargo, estos puntos de referencia no resultan convenientes, pues presentan la dificultad de no ser satisfactoriamente fijos.

### C. Grupo 3

#### Registros textuales

La propiedad termométrica es aquella que varía en igual proporción a cualquier cambio de temperatura, y que puede confrontarse con otras propiedades termométricas dando una escala. En nuestro caso, confrontando con otras propiedades como la presión se esperaría que la proporción fuera la misma.

El termómetro de capilar no es preciso en las unidades de escala; se busca una equidad relacionándolo con las experimentaciones, ya que al realizar varias medidas sobre un sistema se tienen diferentes escalas de temperatura por lo que se esperaría que no fueran iguales unas a las otras.

Las mediciones efectuadas e ilustradas en la tabla 2, muestran la propuesta de escala para ciertas sustancias y cuerpos (en el caso del cuerpo humano), por lo cual se podrían comparar con otras magnitudes de medida y observar las diferencias existentes de la propuesta hecha.

En las experiencias de laboratorio se hace un acercamiento a la construcción de una escala de temperatura de acuerdo a la propiedad termométrica correspondiente al instrumento. Tal acercamiento permitió al grupo establecer una primera ordenación en torno al fenómeno estudiado.

La escala construida en este caso fue a partir de la dilatación de un líquido de propiedades desconocidas, que se fueron caracterizando poco a poco a lo largo de las diferentes experiencias.

El problema al cual se abocó el grupo se relaciona con el hecho de establecer puntos fijos sobre los cuales establecer la escala termométrica, por lo que se presentaron grandes inconvenientes. Los llamados puntos fijos resultan no ser fijos en realidad, pues se utiliza –por mencionar solo algún ejemplo– “el agua tibia”.



Pese a las dificultades y, en muchos casos, confusiones, se llega a establecer una escala para medir la temperatura. No obstante, esta no es suficiente para dar cuenta de cuántas veces un cuerpo está más caliente que otro, dada la manera como escogieron los puntos de referencia.

Cabe resaltar que el grupo reconoce la posibilidad de establecer diferentes escalas térmicas a partir de diferentes propiedades termométricas como, por ejemplo, la dilatación de un líquido y la medición de voltaje.

#### D. Grupo 4

##### Registros textuales

La propiedad termométrica de una sustancia es aquella que varía en el mismo sentido que la temperatura, es decir, si la temperatura aumenta su valor, la propiedad también lo hará y viceversa.

Teniendo como referencia que una escala debe tener una distribución uniforme, se construyó una escala de 0° a 70° JSJ (JeSaJu).

Se pensó en por qué no construir una escala diferente, es decir, sin que esta tenga una escala uniforme, o quizá que no parta de cero sino de otro valor, etc. Pero no es fácil intentar hacerlo, pues teniendo unos conocimientos claros sobre el tema y sobre cómo, en algún momento ciertos personajes construyeron las diferentes escalas que hoy se conocen (Celsius, Fahrenheit y Kelvin). Es extraño entrar a discutir sobre estos conocimientos ya establecidos.

El termómetro de alcohol fue el primero que se creó, y mide la temperatura de manera efectiva. Es más fiable que el termómetro de mercurio, que se utiliza frecuentemente.

Los termómetros de alcohol sirven para tomar la temperatura del ambiente, se usa en todo tipo de ambiente, pero no en personas.

Este grupo intenta construir una escala de medida, pero nuevamente se encuentra con el inconveniente de definir un punto fijo respecto al cual determinar la escala.

También se observa que existen dificultades al momento de idear una escala termométrica que utilice una propiedad diferente. En este caso se trabaja con la dilatación de los líquidos o de los gases y se comparan los resultados con las escalas de temperatura ya establecidas por algunos científicos.

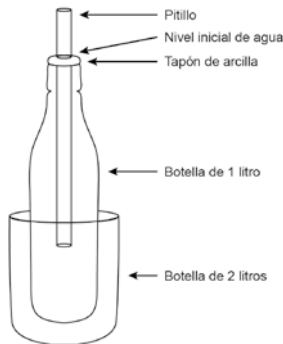
En el caso de los fenómenos térmicos y la construcción de una escala de temperatura, se problematiza la idea inicial de que es suficiente tener dos puntos cualesquiera, ha-

cer divisiones iguales entre un punto y otro para definir una escala y una unidad de temperatura. Por lo tanto, los estudiantes tienen que profundizar en por qué se hacen relaciones lineales entre la propiedad termométrica que estén usando y la variación del estado térmico. En este curso es posible avanzar hasta dicha problematización, sería necesario profundizar en las implicaciones termodinámicas de la relación entre calor y trabajo para poder definir una unidad de medida.

### Registros esquemáticos o fotográficos

#### Montajes

Variación del volumen de un gas con respecto al cambio de temperatura



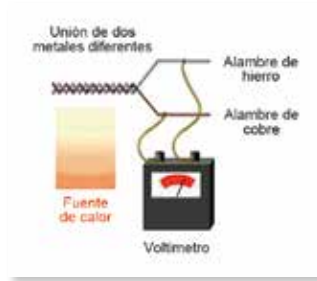
Variación de la presión de un gas con respecto al cambio de temperatura



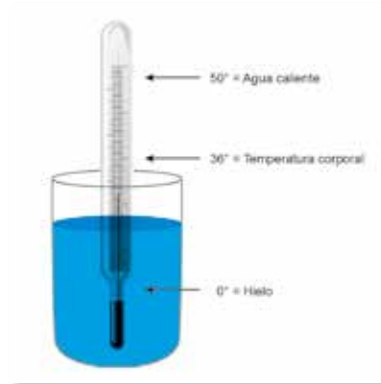
## Registros esquemáticos o fotográficos

### Montajes

Variación de la diferencia de potencial entre dos metales con respecto a la temperatura



Indicadores de alcohol en un tubo capilar cerrado sin graduación.  
La definición de puntos fijos



Puntos Fijos	° Eddie
Hielo	0,06
Temperatura Corporal	0,03
Temperatura Ambiente	0,03
Temperatura Agua Caliente	0,01

## Organización y análisis de la última actividad desarrollada con los estudiantes

A continuación se presentan de forma general las apreciaciones sobre una de las propuestas experimentales hechas por los estudiantes a propósito del último momento del espacio académico al cual nos referimos. En este momento los estudiantes deben elegir una cualidad que sea de su interés y proponer actividades experimentales que les permita describirla, ordenarla, clasificarla y medirla, al mismo tiempo que diseñan y construyen el aparato de medida adecuado.

Así, se lleva a cabo la descripción, análisis y reflexión de cada momento de una fenomenología específica abordada por dos grupos de estudiantes que escogen trabajar con *la velocidad de las reacciones químicas* y que posteriormente fue ligada al estudio de *la reactividad de las sustancias*.

**Tabla 2.** Esquema general de una de las cualidades escogidas por dos grupos: reactividad de las sustancias.

Momento	Descripción	Análisis
Preliminar	En esta fase se hace una reflexión acerca del papel de las actividades experimentales en la enseñanza de las ciencias. Se promueve la realización de una propuesta experimental, mediante la cual inicien la caracterización de una determinada fenomenología o, también, esta fase permite analizar una problemática específica de tal forma que se llegue a establecer o generar una herramienta metodológica por medio de la cual se propicie el proceso de enseñanza-aprendizaje, privilegiando la experimentación como mecanismo fundamental para ello.	En esta fase se evidencia que los estudiantes conciben el papel de la actividad experimental como aquella por medio de la cual es posible validar o refutar una serie de supuestos teóricos y conceptuales. Por lo general, parten de definiciones dadas desde la teoría y que de una u otra forma se han arraigado en su imaginario para dar cuenta de la experiencia, en este sentido experimentación y teoría se encuentran totalmente distanciadas.

Introdutorio	En esta fase se busca que los estudiantes cualifiquen el fenómeno en el aula de clase, enfatizando en la organización que otorga la experiencia sensible y en el reconocimiento de esta, para efectos de tal ordenación es necesario que previamente hayan ideado un montaje o recurso experimental que les permita analizar una serie de efectos por medio de los cuales se haga posible el análisis fenomenológico.	Llegados a este punto los estudiantes manifiestan tener dificultades con los montajes experimentales planteados, que de una u otra forma, consideran, darán cuenta de la caracterización de la cualidad o fenómeno propuesto. El problema radica en que, por lo general, se propone un montaje experimental que está totalmente alejado de la cualidad que se quiere estudiar, o simplemente da cuenta de otro tipo de cualidades que caracterizan otros fenómenos.
Construcción del fenómeno	Se emprende un acercamiento con el fenómeno experimentalmente donde el estudiante reflexiona y establece un patrón de comportamiento del mismo. En este momento se lleva a cabo el análisis de la pertinencia de los montajes experimentales; lo que, por lo general, conlleva al ajuste o al replanteamiento del mismo.	En este momento, después de haber hecho los ajustes pertinentes a los montajes experimentales, se evidencia una mejor caracterización y comprensión de los fenómenos. Es aquí donde se hace necesario buscar un mecanismo que permita cuantificar lo observado para darle un carácter más general, es decir, se requiere establecer una magnitud.

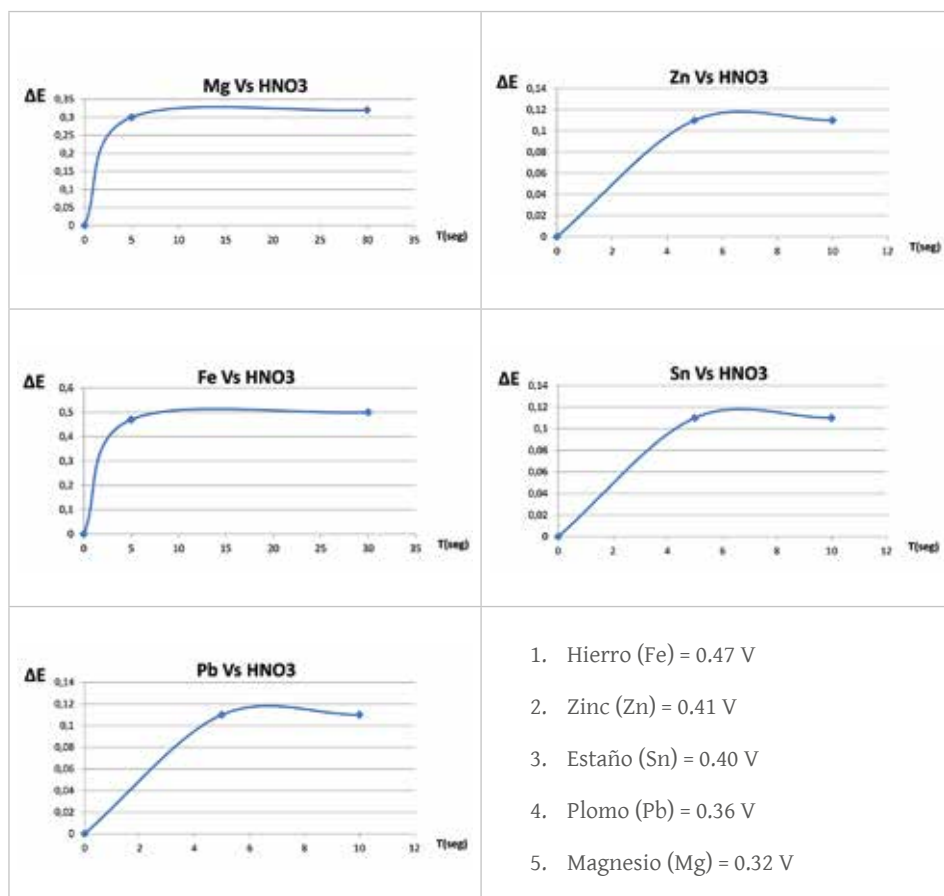
Entre los objetivos propuestos por ambos grupos, a propósito del estudio del fenómeno de la *reactividad de las sustancias*, se encuentran:

- Estudiar la reactividad que presentan algunos metales frente al HCl y el HNO<sub>3</sub>, registrando la diferencia de potencial eléctrico en determinados intervalos de tiempo.
- Construir una escala de velocidad de reacción entre ácidos orgánicos y el permanganato de potasio (fuerte agente oxidante).
- Comparar los resultados de las velocidades de reacción entre las sustancias.

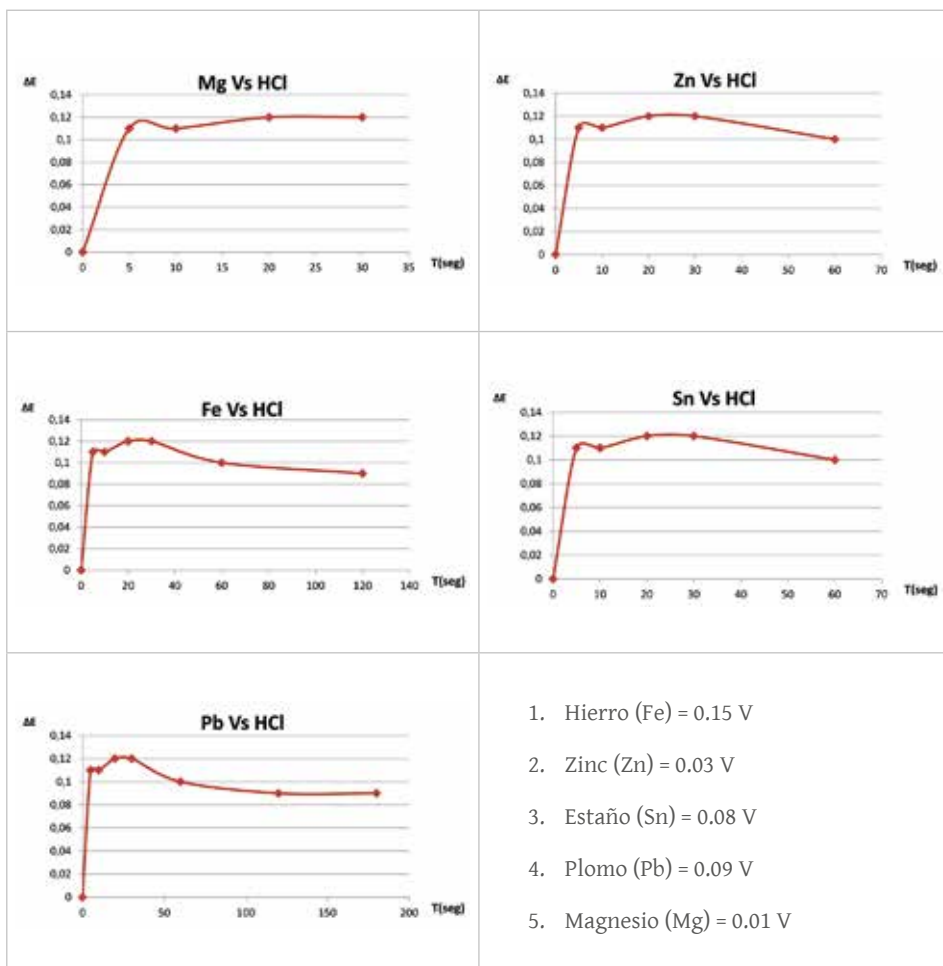
En torno a estos objetivos, ambos grupos llevaron a cabo diferentes procedimientos experimentales, los cuales les permitieron establecer un ordenamiento a partir de la velocidad de reacción de las sustancias; pero deben ampliar este aspecto a clases de sustancias y clases de reacciones químicas puesto que ello permite establecer criterios para estudiar su reactividad, tales como la velocidad de la reacción, la diferencia de potencial o la cantidad de calor de la reacción. En este momento se produce un desplazamiento interesante porque la velocidad de reacción deja de ser el fenómeno a estudiar y pasa a ser el criterio de ordenación de la cualidad “reactividad química”.

Algunos de los registros obtenidos respecto a la actividad de la reactividad de las sustancias se muestran a continuación.

### A. Grupo 1. Experimento 1



- Las gráficas mostradas hacen referencia al análisis hecho por los estudiantes en torno a su primera propuesta experimental, con el fin de generar una escala de ordenación en torno a la velocidad de reacción de las sustancias. En ellas se destaca la variación de la diferencia de potencial en función del tiempo, cuando diferentes sustancias entran en contacto con el  $\text{HNO}_3$ ,
- Este primer desarrollo experimental se constituye en un punto de referencia que los estudiantes utilizarán para establecer una escala definitiva, ya que posteriormente repiten el mismo experimento pero poniendo a interactuar las diversas sustancias con  $\text{HCl}$ .
- En la parte inferior derecha del recuadro donde se ubican las gráficas, se muestra la primera ordenación establecida por los estudiantes, la cual será contrastada con una segunda escala de ordenación que se exhibe en el siguiente recuadro de imágenes.



- En esta oportunidad los estudiantes obtienen una nueva escala de ordenación (recuadro inferior derecho), la cual es posible comparar con la elaborada en una primera fase experimental, entre las conclusiones a las que llega el grupo se destacan:

Experimento 1. Como podemos evidenciar en la tabla y las gráficas anteriormente expuestas, al entrar en contacto con un ácido los metales dan lugar a una reacción que posee una cinética de reacción lenta.

Teniendo en cuenta la escala anterior se puede analizar que el hierro es el metal más reactivo cuando entra en contacto con el ácido nítrico,  $\text{HNO}_3$ . Por el contrario, el metal menos reactivo es el magnesio, el cual experimentalmente tuvo un tiempo de reacción corto y una diferencia de potencial baja.

Es difícil idear una magnitud debido a que no se tomaron en cuenta los múltiples factores que influyen en la velocidad de reacción de los reactivos seleccionados, los metales no siempre reaccionan y actúan de la misma manera cuando son mezclados con diferentes ácidos, además en nuestros resultados, a pesar de que gráficamente se observó el mismo comportamiento, la diferencia de potencial no tenía una secuencia lineal entre los mismos metales como para ser reorganizados unos con otros.

## B. Grupo 2. Experimento 2

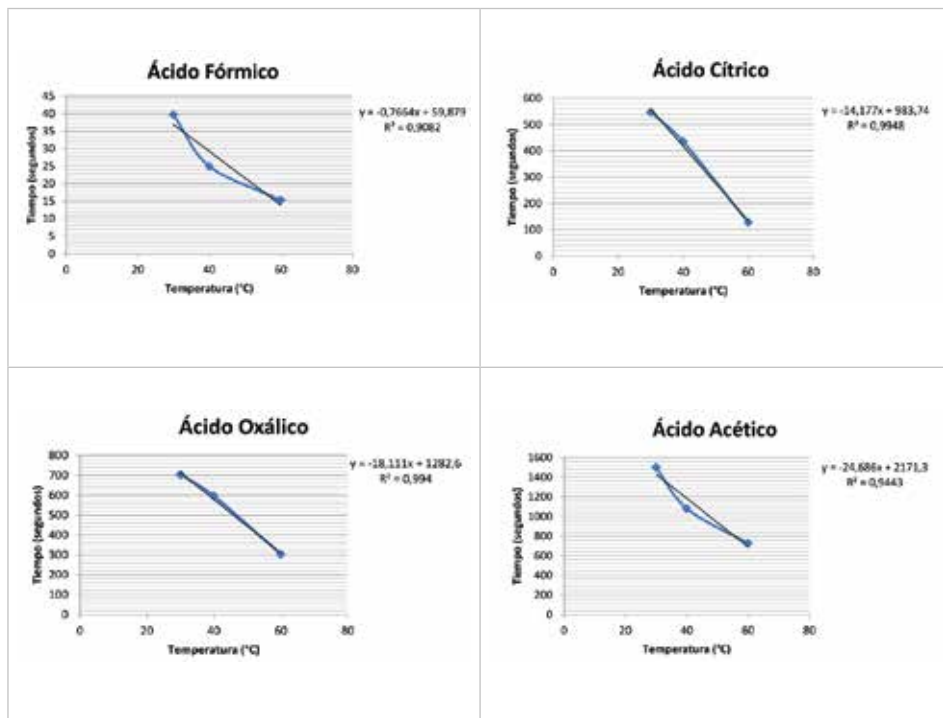




Tabla No.1 con  $\text{KMnO}_4$  a 0,01M y ácidos a 0,01 M

N° tubo	$\text{KMnO}_4$ (mL)	Ácido (mL)	Temperatura (°C)	Tiempo (Seg.)
1	1	Fórmico	30	39,7
2	1	Oxálico	30	723
3	1	Cítrico	30	546,6
4	1	Acético	30	1500

Tabla No.2 con  $\text{KMnO}_4$  a 0,01M y ácidos a 0,01 M

N° tubo	$\text{KMnO}_4$ (mL)	Ácido (mL)	Temperatura (°C)	Tiempo (Seg.)
1	1	Fórmico	40	25
2	1	Oxálico	40	582,6
3	1	Cítrico	40	434,4
4	1	Acético	40	1080

Tabla No.3 con  $\text{KMnO}_4$  a 0,01M y ácidos a 0,01 M

N° tubo	$\text{KMnO}_4$ (mL)	Ácido (mL)	Temperatura (°C)	Tiempo (Seg.)
1	1	Fórmico	60	15,3
2	1	Oxálico	60	313
3	1	Cítrico	60	127,2
4	1	Acético	60	724,8

- Entre las conclusiones planteadas por estos grupos se destacan:

Se construyó la escala para ácidos orgánicos, tomando como base al permanganato de potasio, se revisan las gráficas de los ácidos para reconocer la tendencia y la reactividad que puede presentar, se cuantifica y se le asigna un número de acuerdo al valor de la pendiente; a partir de esto se cataloga al ácido fórmico como el más reactivo y al ácido acético como el menos reactivo, se resalta que las concentraciones de los ácidos y del permanganato son las mismas para lograr uniformidad en la cinética de la reacción.

Al revisar las gráficas y los datos se realiza un análisis, comparando y cambiando las condiciones de algunas cualidades como la temperatura. En este caso se puede observar experimentalmente que las reacciones ocurren más rápido a medida que se aumenta la temperatura, esto se relaciona con el fenómeno de cinética química, que explica el movimiento de las partículas.

Frente al proceder experimental desarrollado por los dos grupos, se destaca el hecho de que ambos intentaron establecer una primera organización respecto a la velocidad de reacción de las sustancias y para llegar a ella utilizaron caminos diferentes, pero no por eso menos válidos.

Otro aspecto a destacar tiene que ver con el hecho de que los estudiantes intentan generar sus propias explicaciones a partir de un problema específico y para ello se valen de variadas disposiciones experimentales. Resulta interesante que para este ejercicio buscaron caracterizar el fenómeno a partir de la medición de variables macroscópicas (velocidad de reacción y diferencia de potencial) y, por tanto, fácilmente identificables. De esta forma se desligaron un poco de la teoría preestablecida en los libros de texto y pusieron de manifiesto sus propias interpretaciones en torno a la actividad desarrollada.

Además de lo interesante que resulta la ordenación, se destaca la utilización de un patrón y de las medidas de diferencia de potencial o de rapidez de las reacciones como criterio de ordenación. Estos criterios se construyen al mismo tiempo que se despliega una actividad experimental al respecto. Además, no solo se consigue producir una ordenación sino comparar las diferentes ordenaciones producidas. Es así como ordenaciones, patrones y criterios deconstruyen una mirada sobre el comportamiento y la reactividad química basada en modelos y entidades abstractas y lejanas de la percepción que los sujetos tenemos de la actividad química de las sustancias.

## Bibliografía

- Ayala Manrique, M. M., Romero Chacón, Á., Malagón Sánchez, J. F., Rodríguez Rodríguez, O. L. D., Aquilar Mosquera, Y. & Garzón Barrios, M. (2008). *Los procesos de formalización y el papel de la experiencia en la construcción del conocimiento sobre los fenómenos físicos*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Malagón Sánchez, J. F., Ayala Manrique, M. M. & Sandoval Osorio, S. (2011). *El experimento en el aula. Comprensión de fenomenologías y construcción de magnitudes*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Malagón Sánchez, J. F., Ayala Manrique, M. M. & Sandoval Osorio, S. (2010). *El experimento en el aula. Comprensión de fenomenologías y construcción de magnitudes*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Romero, A. (2002). *La matematización de los fenómenos físicos: el caso de los fenómenos mecánicos y térmicos. Análisis conceptuales y elementos para propuestas didácticas*. Informe de Investigación. Medellín: Universidad de Antioquia. Facultad de Educación-CIEP, Escuela Normal Superior María Auxiliadora. Citado por Ayala Manrique, M. M. et ál. 2008: 107.
- Segura, D. (1993). *La enseñanza de la física. Dificultades y perspectivas*. Bogotá: Fondo Editorial Universidad Distrital Francisco José de Caldas.



# Consideraciones finales

Los procesos de investigación llevados a cabo por los autores, en la última parte de la década de 2000, alrededor de la actividad experimental y los procesos de construcción de fenomenologías (2009-2010), han permitido construir una mirada alternativa que hace énfasis en la actividad experimental como una parte constitutiva del proceso de enseñanza de las ciencias y no solamente como una metodología de trabajo en el aula de clases. Allí hemos centrado nuestros análisis en la comprensión de fenomenologías, la identificación de cualidades, la construcción de magnitudes y las formas de medida. Desde este énfasis, la conexión con la experiencia sensible es fundamental y necesaria, por lo tanto, parte de la labor pedagógica se centra en el reconocimiento o en la construcción de estos vínculos con la experiencia sensible, que resultan útiles para construir el campo de efectos, relaciones y lenguajes que dan cuenta del fenómeno de estudio.

Es importante afirmar que, desde esta perspectiva de construcción de un fenómeno o fenomenología, a la vez que el ámbito de la experiencia se transforma, también se transforma el ámbito del lenguaje con el que nos referimos a esa experiencia. Se hace necesario, por ejemplo, construir descripciones en las que se discriminen factores o efectos que han adquirido importancia, comparaciones en las que se establezca un criterio de orden o una categoría de agrupación y relaciones entre los distintos criterios. Estos procesos son tipos de formalización en un sentido amplio que no implica la pura formalización matemática. Aquí entendemos la formalización como la construcción de palabras, términos, cualidades, etc., que permiten empezar a hablar del fenómeno, como se ha expresado a lo largo de esta obra.

Este planteamiento se sustenta, a su vez, en las reflexiones y caracterización de los procesos de formalización desarrolladas en proyectos anteriores (2007-2008), los cuales se consideran centrales en la comprensión de los fenómenos científicos. En

este camino se ha valorado la importancia de profundizar la relación entre la actividad experimental y los procesos de formalización (2011-2012), buscando construir un panorama para la enseñanza de las ciencias caracterizado por la ruptura de la dicotomía teoría-práctica que los maestros de ciencias suelen asumir como estructura natural en la clase.

En este sentido se han presentado las distintas reflexiones sobre la relación entre los procesos de organización de fenomenologías, los procesos de formalización y la actividad experimental, teniendo en cuenta que la actividad de organizar y explicar la experiencia es propia de los procesos de formalización de los fenómenos, a la vez que se reconoce una relación dinámica entre la actividad experimental y la teorización sobre los fenómenos naturales.

Así, los desarrollos logrados permiten poner de manifiesto, en primer lugar, la existencia de una íntima e indisoluble relación entre las magnitudes y sus formas de medida y la comprensión del campo fenoménico en el que se inscriben, en segundo lugar, que “lo sensible” está cruzado por construcciones y organizaciones “teóricas” previas o formas lógicas de organizar y, en tercer lugar, que las organizaciones conceptuales están ligadas a las organizaciones de la experiencia sensible.

En síntesis, una indagación en el sentido propuesto ha permitido allegar elementos importantes para el planteamiento, dinamización y enriquecimiento de la actividad experimental en las clases de ciencias. A partir de tales indagaciones se han sistematizado algunas experiencias de aula que aportan elementos pedagógicos importantes y que, a su vez, proponen otras preguntas que requieren ser abordadas en nuevos procesos investigativos.

El reconocimiento de un campo fenomenológico a estudiar implica diferenciar una cualidad o conjunto de cualidades que se quieren estudiar y sobre las cuales se tiene una experiencia de base que permite hacer distinciones. A partir de esta experiencia se pueden ampliar los efectos relacionados con dichas cualidades mediante el análisis de los comportamientos producidos. Se obtienen ordenaciones, clasificaciones, escalas que son enriquecidas o son producto de diversas disposiciones experimentales en las cuales se ha procurado el estudio de relaciones entre las cualidades estudiadas y los efectos producidos.

Hablar del fenómeno implica construir palabras o modos de hablar y proceder para referirse a él, es decir, hablar del fenómeno implica construir un lenguaje para mostrar el proceso de diferenciación de una cualidad o conjunto de cualidades que expresen el estudio u organización del mismo. Pero en una perspectiva fenomenológica la experiencia y el lenguaje se configuran mutuamente y el fenómeno no es accesible sino a través de los mismos, de tal modo que el lenguaje o, mejor, los modos de hablar y los modos de proceder son fundamentalmente comunicativos. De ahí nuestro interés por establecer el vínculo entre los procesos de formalización, de representación y la construcción de fenomenologías con fines pedagógicos.





Impreso en el mes de diciembre de 2013  
en los talleres de JAVEGRAF

Bogotá, 2013. Colombia.

ISBN: 978-958-8650-45-6



Este libro presenta el estado de la discusión adelantada por los autores en torno a la relación entre la construcción de fenomenologías y los procesos de formalización, desde el ámbito de la enseñanza de las ciencias. En el contexto pedagógico se requiere responder, en especial, a la pregunta sobre el tipo de análisis de la actividad experimental y sobre los procesos de formalización que deben adelantarse, con el fin de aportar elementos para orientar los complejos procesos cognitivos que intervienen en la enseñanza de las ciencias. Es así como se afirma que la intencionalidad pedagógica que nos orienta privilegia contextos de construcción o producción del conocimiento.

Se advierte, entonces, que la comprensión del campo fenomenológico se vincula con la determinación de una cualidad, o un conjunto de cualidades, que permiten estudiar y organizar el fenómeno; en ese sentido se afirma que son cualidades que posibilitan hablar del fenómeno. La comprensión del fenómeno se vincula luego a la elaboración de las relaciones que se pueden establecer entre esas cualidades mediante el análisis de los efectos y comportamientos producidos. Como se puede ver, el fenómeno no es estático y no hay un fenómeno en sí mismo: este se va transformando a medida que se producen nuevas organizaciones.