

# Una perspectiva fenomenológica para la enseñanza de las ciencias

Grupo de investigación:  
Física y Cultura

Balance de la trayectoria de los  
grupos de investigación de la  
Universidad Pedagógica Nacional



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA  
NACIONAL

*Educadora de educadores*



años



Una perspectiva  
fenomenológica  
para la enseñanza de  
las ciencias





# Una perspectiva fenomenológica para la enseñanza de las ciencias

## **Grupo de investigación**

**Física y Cultura. Subgrupo de estudios histórico-críticos  
para la enseñanza de las ciencias**

## **Colección CIUP 41 años**

Balance de la trayectoria de los  
grupos de investigación de la  
Universidad Pedagógica Nacional



**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA  
NACIONAL**

*Educadora de educadores*



Una perspectiva fenomenológica para la enseñanza de las ciencias.

Sandra Sandoval Osorio... [et.al.]. – 1ª. ed. – Bogotá : Universidad Pedagógica Nacional, CIUP, 2018  
52 páginas. – (Colección Ciup 41 años. Balance de la trayectoria de los grupos de investigación de la Universidad Pedagógica Nacional)

Incluye: Referencias bibliográficas.

ISBN impreso: 978-958-5416-89-5

ISBN digital: 978-958-5503-05-2

I. Ciencias – Enseñanza – Evaluación. 2. Ciencias – Experimentos. 3. Ciencias – Metodología. 4. Filosofía de las Ciencias. 5. Fenomenología. 6. Métodos de Enseñanza. 7. Clasificación de las Ciencias. 8. Pedagogía. 9. Formación Profesional de Maestros. I. Malagón Sánchez, José Francisco II. Garzón Barrios, Marina. III. Ayala Manrique, María Mercedes. IV. Tarazona Vargas, Liliana

501 cd. 21 ed.

**Una perspectiva fenomenológica  
para la enseñanza de las ciencias**

© Universidad Pedagógica Nacional

© Sandra Sandoval Osorio,

José Francisco Malagón Sánchez,

Marina Garzón Barrios,

María Mercedes Ayala Manrique,

Liliana Tarazona Vargas

**Colección CIUP 41 años:**

Balance de la trayectoria de los  
grupos de investigación de la  
Universidad Pedagógica Nacional

ISBN impreso: 978-958-5416-89-5

ISBN digital: 978-958-5503-05-2

ISBN colección impresa:

978-958-5416-80-2

ISBN colección digital:

978-958-5416-96-3

Primera edición, 2018

Fecha de evaluación:

8 de noviembre de 2017

Fecha de aprobación:

23 de mayo de 2018

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

Prohibida la reproducción total  
o parcial de este material, sin la  
autorización por escrito de la  
Universidad Pedagógica Nacional

**Adolfo León  
Atehortúa Cruz**

RECTOR

**Sandra Patricia  
Rodríguez Ávila**

VICERRECTORA DE GESTIÓN  
UNIVERSITARIA

**Mauricio Bautista Ballén**

VICERECTOR ACADÉMICO

**Fernando Méndez Díaz**

VICERECTOR ADMINISTRATIVO  
Y FINANCIERO

**Helberth Augusto  
Choachí González**

SECRETARIO GENERAL

**Nydia Constanza  
Mendoza Romero**

SUBDIRECTORA DE GESTIÓN  
DE PROYECTOS CIUP

**PREPARACIÓN EDITORIAL**

Grupo Interno  
de Trabajo Editorial  
Universidad Pedagógica  
Nacional

**Alba Lucía  
Bernal Cerquera**

COORDINADORA

**Miguel Ángel Pineda Cupa**

EDICIÓN

**César Mackenzie Trujillo**

CORRECTOR DE ESTILO

**Mauricio Salamanca**

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

**Mauricio Esteban Suárez**

DISEÑO DE CUBIERTAS

**Juan Camilo Sierra Zapata**

ILUSTRACIONES

**Johny Adrián Díaz Espitia**

FINALIZACIÓN DE ARTES

**Xpress Estudio Gráfico  
y Digital S.A.**

Impreso y hecho en  
Bogotá, Colombia



**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA  
NACIONAL**

*Educadora de educadores*



# Contenido

Introducción.....	12
Descripción de la investigación.....	12
El papel de la percepción y el lenguaje en los procesos de formalización .....	16
El planteamiento de una perspectiva fenomenológica .....	18
El desarrollo de un estudio histórico-crítico como una necesidad de proceder.....	23
Análisis de fenómenos y dominios fenomenológicos.....	26
Vínculos entre campos fenomenológicos y procesos de una síntesis teórica.....	39
Consideraciones que se derivan para la enseñanza de las ciencias.....	42
Referencias .....	48

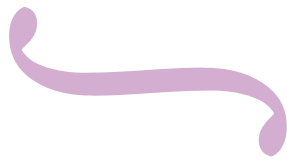
activ

cién

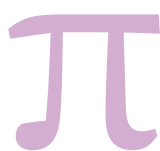
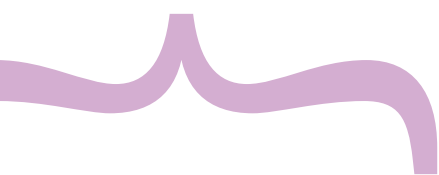
fenó



rididad



ncia



meno

# Autores:

Sandra Sandoval Osorio,  
José Francisco Malagón Sánchez,  
Marina Garzón Barrios,  
María Mercedes Ayala Manrique y  
Liliana Tarazona Vargas

## Líneas de investigación:

1. Enseñanza de las ciencias desde una perspectiva cultural: Recontextualización de saberes científicos

**Año creación: 1992**

## Grupo de investigación:

Física y Cultura. Subgrupo de estudios histórico-críticos para la enseñanza de las ciencias

## \* Integrantes del grupo:

Sandra Sandoval Osorio,  
José Francisco Malagón Sánchez,  
Marina Garzón Barrios,  
María Mercedes Ayala Manrique,  
Liliana Tarazona Vargas





## Acerca del grupo

En la actividad investigativa de este grupo se ha hecho énfasis en una perspectiva fenomenológica en la construcción de explicaciones: hemos prestado especial atención a los procesos de diferenciación fenoménica y sistematicidad de las elaboraciones, que permiten al sujeto construir el fenómeno y dar cuenta de las condiciones que lo hacen posible, de las variables que determinan sus cambios y de los procesos que lo constituyen. En otras palabras, desde una perspectiva fenomenológica, el sujeto se ve en la necesidad de proponer explicaciones, diseñar experimentos, anticipar eventos, elaborar generalizaciones y definir criterios metodológicos que enriquecen las explicaciones al fenómeno conocido. Desde los estudios histórico-críticos para la enseñanza de las ciencias nos hemos basado en el análisis de textos elaborados por pensadores que contribuyen de manera significativa a la consolidación de las ciencias y los consideramos procesos de recontextualización de los saberes científicos.

Con estos supuestos como telón y con el ánimo de profundizar en las condiciones cognitivas, pedagógicas y epistemológicas implicadas en la enseñanza de las ciencias, el equipo de trabajo se ha preocupado por el papel que juega la actividad experimental en la enseñanza de las ciencias, para lo cual se han desarrollado proyectos de investigación (del 2007 hasta el presente) en los que se destaca que en el ámbito de la enseñanza de las ciencias la actividad experimental juega un papel importante, en especial su íntima relación con las organizaciones conceptuales que se van construyendo. Esta concepción rompe con la oposición experimento-teoría, y así se puede afirmar que no se pueden establecer antagonismos o delimitar ideas de forma absoluta, aunque se reconozca que el experimento tiene dinámicas propias. Ni el experimento comprueba la teoría ni la teoría puede existir sin la referencia a lo sensorial.



## Introducción

**E**n este texto se presentan los principales aspectos de investigación que los autores han construido en el campo de la enseñanza de las ciencias al plantear la actividad experimental como parte estructurante de los procesos de conceptualización y construcción de conocimiento científico en la clase de ciencias. El grupo ha construido como alternativa para comprender la actividad de construcción teórica y para dirigir el trabajo en la clase de ciencias, una perspectiva fenomenológica. En relación con esto, se ha estudiado el papel de la percepción y del lenguaje dentro de los procesos de formalización para ampliar y consolidar nuestra reflexión sobre los elementos epistemológicos y cognitivos implicados en esta actividad.

A partir del análisis histórico-crítico de textos científicos se ha estudiado la dinámica de construcción de magnitudes que organizan los fenómenos térmicos, de acidez de las sustancias o los fenómenos voltaicos. Aquí se destaca el establecimiento de relaciones entre cualidades que dan cuenta de lo cambiante de dos fenómenos diferentes y que permiten la construcción de magnitudes como la temperatura o el pH. Además, se encuentra, a partir del caso de los fenómenos voltaicos, que la construcción de una magnitud como la intensidad de corriente aportó en la constitución de un nuevo campo o dominio fenomenológico: la electroquímica, y esta actividad de organización y construcción de efectos sensibles hace parte del proceso de reducción a síntesis teóricas.

## Descripción de la investigación

Durante un poco más de una década nos hemos interesado por una perspectiva de enseñanza de las ciencias que favorezca de manera estructural la dinámica de construcción de conocimiento en el aula. Las dinámicas de construcción de descripciones y explicaciones que

se pueden privilegiar en las clases de ciencias han estado orientadas por la configuración y comprensión de algunos fenómenos de nuestro interés que hemos estudiado (fenómenos térmicos, fenómenos de acidez de las sustancias y fenómenos voltaicos) y que han implicado analizar el papel del experimento en la construcción de conocimiento científico y en el aula, el proceso de construcción de fenomenologías, el desarrollo de procesos de formalización y síntesis, entre otros ámbitos.

En esta trayectoria destacamos dos aspectos en los que hemos hecho énfasis y entre los que hemos establecido relaciones importantes: *la actividad experimental* se ha constituido en parte estructurante de los procesos de conceptualización para la enseñanza de las ciencias; y hemos acudido a *la fenomenología* como perspectiva de análisis y estructuración de los fenómenos. Esta perspectiva ha guiado nuestra mirada sobre los procesos de experimentación y sobre los procesos de formalización conceptual, procesos que hemos examinado con base en el análisis de los fenómenos que abordamos en nuestras clases.

Ubicarnos en una perspectiva fenomenológica implica que consideremos que no existen esquemas conceptuales que no estén articulados con la experiencia: por ejemplo, los cuerpos cuasi rígidos de nuestra experiencia están a la base de los esquemas numéricos y espaciales con los cuales organizamos nuestra experiencia sensible y configuramos el mundo físico (Ayala y Malagón, 2008). Además, los esquemas conceptuales (producto de la organización de la experiencia inicial o de la actividad teórica) orientan la actividad experimental, ya sea para ampliar la experiencia o para dinamizar la teorización de esa experiencia (Malagón, Ayala y Sandoval, 2011).

A partir de la investigación hemos podido establecer que el análisis y estructuración de una clase de fenómenos requiere la identificación de cualidades, la construcción de magnitudes y formas de medida, lo que hemos denominado *la construcción de fenomenologías*. Por ejemplo, cuando se trata de la organización de los fenómenos térmicos reconocemos una experiencia inicial organizada tácitamente

que permite a los sujetos distinguir entre caliente y frío, e incluso que posibilite la construcción de escalas desde lo más frío hasta lo más caliente. Aun así, el más simple ejercicio de esta ordenación de frío a caliente requiere la identificación de cualidades con respecto a las cuales hacer la gradación; las cualidades identificadas pueden ser la dilatación de los cuerpos por efecto del aumento de los grados de calor, o por la variación de otras propiedades de los materiales como la resistencia eléctrica, o incluso el cambio de coloración de algunas sustancias.

Sin embargo, alrededor de algunos fenómenos los sujetos no tienen organizada una experiencia inicial, por lo cual se requiere generar acciones para construir y vincular efectos para posteriormente organizarlos, como en el caso de la construcción de los fenómenos electrostáticos. Malagón (2014) señala que aun cuando se tiene una relación directa con una serie de artefactos cuyo funcionamiento tiene a la base la teoría electromagnética, esta experiencia no es suficiente para establecer relaciones entre efectos que nos permitan hablar de la teoría, “por lo menos no se puede establecer una relación clara de una expresión  $\nabla E = \rho/\epsilon$  con alguno de estos dispositivos”<sup>1</sup> (Malagón, 2014, p. 103). En este caso es necesario diseñar experiencias y construir la base fenomenológica que la teoría daría cuenta.

De lo anterior se deriva que para los procesos de enseñanza de las ciencias es fundamental y necesaria la conexión con la experiencia o la construcción de una base fenomenológica. Por lo tanto, parte de la labor pedagógica que realizamos se centra en el reconocimiento o en la construcción de estos vínculos con la experiencia, que resultan útiles para construir el campo de efectos, relaciones y lenguajes que dan cuenta del fenómeno que se estudia. Por eso, una de las preguntas que han orientado nuestros trabajos y que nos ha exigido abordar

---

1 Los dispositivos o artefactos a los cuales se refiere el texto son, por ejemplo, radio, celular, televisores, cercanos a la vida cotidiana pero cuya manipulación o uso no permite construir una idea inicial o ser la experiencia primera para hablar de la teoría electromagnética.

diferentes elementos de la construcción del conocimiento científico, es: ¿cómo construir la base fenomenológica que permita dar cuenta de ciertas magnitudes y fenómenos?

Hablamos de la base fenomenológica como una experiencia ordenada o una experiencia pensada. La experiencia primera o evidente solo es útil en la medida en que sea cuestionada, que sea vuelta un ámbito de reflexión. Es por esto que se le exige ser organizada. La experiencia tiene que ser descrita y sobre ella se debe analizar cómo es comprendida, y en ese momento deja de ser una experiencia primaria pues pasa a ser una experiencia ordenada.

Ahora bien, cuando la base fenomenológica es provocada se llevan efectos sensibles que antes no se contemplaban a una esfera de experiencias organizadas, por lo que es necesario, nuevamente, hacer la exigencia de comprensión que induce a otras organizaciones, delimitaciones y descripciones de las relaciones que se están construyendo. Podemos decir, entonces, que la experiencia de la que hablamos en la enseñanza de las ciencias no es caótica, desordenada o imprecisa: la experiencia ordenada es aquella en la que nos apoyamos para producir preguntas y orientar dinámicas de nuevas comprensiones de las fenomenologías. La experiencia ordenada es aquella que produce discriminaciones, delimitaciones, ordenaciones y agrupaciones, todas estas operaciones son fundamentales en la construcción de magnitudes y formas de medida de los fenómenos que estudiamos.

Estudiar la construcción de fenomenologías desde esta perspectiva nos ha permitido proponer que ese proceso de organización de la experiencia es un tipo de formalización, en un sentido amplio, que no se centra únicamente en la formalización matemática. Aquí entendemos la formalización como la construcción de relaciones, palabras, términos, cualidades, etc., que permiten hablar del fenómeno. Entonces, así como antes afirmamos que la actividad experimental es estructurante en la construcción de conocimiento, ahora podemos agregar que la asignación simbólica que se hace a través del lenguaje da forma a la comprensión del fenómeno y es un elemento constituyente.

## El papel de la percepción y el lenguaje en los procesos de formalización

En el desarrollo de nuestras investigaciones, un elemento de discusión ha sido cuál es el papel de la percepción y el lenguaje en los procesos de formalización. Se ha planteado que la relación entre percepción, producción de efectos sensibles y lenguaje es el fundamento para la comprensión de fenomenologías y la producción de teorizaciones en la enseñanza de las ciencias. A continuación, presentamos algunas de las consideraciones decantadas hasta el momento.

En la epistemología genética de Piaget (García, 1997) el conocimiento es un proceso continuo que está inicialmente supeditado al aparato o sistema sensorio-motor. Esto quiere decir que cualquier forma de conocimiento que la especie desarrolle tiene su nivel originario en la organización de las sensaciones, que inicia desde los procesos puramente biológicos y se sigue reorganizando hasta generar las formas más abstractas de la ciencia.

Desde este punto de vista no existen ideas innatas sino ideas que se elaboran mediante la acción del sujeto sobre los objetos, objetos que el sujeto organiza al mismo tiempo que coordina sus propias acciones sobre ellos (García, 1997, p. 19). Esta es la etapa de la formación de los esquemas de acción, o primera etapa en lo que ha sido llamado *la génesis de la lógica*. En la segunda etapa de este proceso organizativo se va desarrollando una necesidad lógica que se construye durante la coordinación de las acciones sobre los objetos y la coordinación de las propias acciones del sujeto, coordinaciones que se presentan simultáneamente. Sin embargo, en esta etapa no hay una completa toma de conciencia de las acciones propias del sujeto sobre los objetos. Esta necesidad lógica lleva al sujeto a una tercera etapa en la cual se establecen relaciones de implicación entre significados de las acciones que le permiten consolidar una serie de inferencias primarias, posibles de reproducir y que dan origen a la lógica de las acciones. Esta estructura lógica antecede a una elaboración más depurada que es la estructura



lógica formal de las proposiciones, o estructura lógico-matemática (García, 1997, pp. 48-53).

De todo ello nosotros concluimos que, al actuar sobre los objetos, lo que se percibe son los efectos que ocurren en las interacciones de unas cosas con otras, y cuando se empieza a hablar de estos efectos se generan las ideas que obligan a pensar cuál es el criterio de organización. En este sentido, *conceptualizar* se entiende como lo que se piensa de lo que se percibe en el establecimiento de las relaciones de coordinación. De este proceso es necesario resaltar, por una parte, el carácter repetitivo de las acciones y su fijación en el tiempo: llegar a coordinar acciones exige volver a actuar sobre *los mismos* objetos, sobre *los mismos* procedimientos o sobre *las mismas* circunstancias, de modo que se provee de cierta permanencia en el tiempo, aquella que permite inferir sobre las acciones cuando estas se repiten y cuando se repiten bajo diferentes condiciones. Por otra parte, se destaca el carácter inductivo de este proceso de coordinación. La inferencia y la concatenación de inferencias son el mecanismo que permite la construcción de una idea, de un concepto, de la formalización y de la teorización.

En síntesis, lo que se piensa depende de lo que se percibe, así como lo percibido depende de los elementos organizativos con los que se cuenta para ver lo que vemos; es decir, que lo que se percibe también depende de lo que se piensa. Así se puede suponer una relación dinámica entre la percepción, la representación y el habla:

Hay una lógica del mundo sensible que solo puede ser apprehendida por el cuerpo, que no existe sin él, pero que él no produce. En este momento debemos pensar la percepción como un acontecimiento intracarnal y ya no como una acción subjetiva, como un acto que se dijera unívocamente y primitivamente del sujeto humano. La percepción acontece y el cuerpo testimonia la emergencia del mundo. (Ramírez, 2013, p. 131).

Esto implica que la forma de establecer campos semánticos desde los cuales abordar las disciplinas científicas han de estar ligados a la percepción, e implica que las teorías guardan una relación con la experiencia pero no son la experiencia. No son los otros, en este caso los científicos, quienes nos dicen cómo debemos ver el mundo, somos nosotros que en *diálogo* con ellos aprehendemos las cosmovisiones de la cultura.

## El planteamiento de una perspectiva fenomenológica

Es importante resaltar tres aspectos 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, y que ha cruzado nuestras reflexiones acerca de la actividad experimental y de todo el proceso de comprensión de los fenómenos de estudio.

En primer lugar, señalamos que *fenómeno* y *sujeto* constituyen una unidad. No aceptamos el fenómeno como una realidad en sí misma, ni tampoco que la conciencia existe en sí misma: consideramos que hay una relación de doble vía entre ellas. Como se plantea en la fenomenología de Husserl y Heidegger: “‘Detrás’ de los fenómenos de la fenomenología, por esencia no hay ninguna otra cosa. [...] Y precisamente se requiere de la fenomenología porque los fenómenos inmediata y regularmente no están dados” (Heidegger, 1927, p. 45). Esto implica que el fenómeno requiere de alguien ante quien aparecer, además no oculta un ser verdadero de carácter absoluto. Asimismo, “toda conciencia, como lo ha demostrado Husserl, es conciencia de algo. Esto significa que no hay conciencia que no sea posición de un objeto trascendente, o, si se prefiere, que la conciencia no tiene ‘contenido’” (Sartre, 1954, p. 8). Así, consideramos la fenomenología como

perspectiva para estudiar la compleja organización de la conciencia sobre el conocer.

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*, una descripción detallada del fenómeno que está imbricada en la actividad experimental, actividad que, a su vez, exige una comprensión conceptual que acompañe a la intervención y disposición experimental. En segundo término, insistimos en que el fenómeno no esconde nada detrás de sí. De esta manera, las explicaciones que se construyan no requieren de entes metafísicos o de entidades ocultas más allá de aquello que se percibe. Por ende, el fenómeno no oculta nada. Pierre Duhem en su obra *La teoría física. Su objeto y su estructura*, desarrolla la idea de que ningún sistema metafísico es suficiente para construir una teoría física, y establece que:

La distinción entre la física, que estudia los fenómenos y sus leyes, y la metafísica, que pretende conocer la esencia misma de la materia en tanto que causa de los fenómenos y razón de ser de las leyes, carece de fundamento. La mente no parte del conocimiento del fenómeno para pasar después al conocimiento de la materia; lo primero que conoce es la naturaleza misma de la materia y de ella se sigue la explicación de los fenómenos. (Duhem, 1914, p. 54).

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. En este sentido, Sartre plantea en *El ser y la nada* que: “La apariencia remite a la serie total de las apariencias y no a una realidad oculta que habría drenado para sí todo el ser de lo existente” (Sartre, 1954, p. 5). Así pues, la apariencia no es siempre la misma y el fenómeno no es siempre el mismo,

su naturaleza cambiante está también en la conciencia cambiante del sujeto.

Con base en estas ideas, se considera una explicación *a priori* cuando está sustentada en ideas metafísicas, por ejemplo: la explicación de la combinación de las sustancias basada en el *a priori* de la existencia e interacción entre átomos termina acudiendo a una idea metafísica de la que se parte sin evidencia de su existencia. Nosotros no consideramos estas ideas *a priori* como punto de partida para la comprensión de fenomenologías. En cambio, consideramos que la organización de cualidades, la construcción de escalas de intensidad de una cualidad y el establecimiento de magnitudes y de formas de medida son una opción para la enseñanza de las ciencias que nos permite ser coherentes con esta perspectiva fenomenológica.

Por último, el fenómeno no es estático, como hemos señalado. Si la conciencia cambia a medida que se van haciendo organizaciones del fenómeno entonces el fenómeno cambia, por el mismo hecho de ser algo inseparable de una conciencia que lo organiza. Alguien podría decir que es posible aprehender la caída a través de las ecuaciones de movimiento o de energía, y alguien más que sea relativista dirá que es posible verla a través de otro tipo de relaciones en el espacio, deformaciones del mismo, etc. Así, cada uno estará identificando cualidades distintas de la caída que hacen un fenómeno diferente a cada quien. Sartre coloca estas posibilidades de aparición como infinitas: “la aparición que es finita, se indica a sí misma en su finitud, pero exige a la vez, para ser captada como aparición-de-lo-que-appearece, ser trascendencia hacia el infinito. Esta oposición nueva, la de ‘lo infinito y lo finito’, o, mejor, de ‘lo infinito en lo finito’, reemplaza el dualismo del ser y el aparecer” (Sartre, 1954, p. 6). Nunca habrá esencia en el fenómeno en tanto este no es finito, no tiene una única apariencia, el ser del fenómeno en sí mismo desaparece, se anula por la infinidad de las apariciones (una presentación de estos aspectos se encuentra en Ayala et al., 2014).

En el mismo sentido de esta perspectiva fenomenológica, Ramírez (2013) señala:

El prejuicio objetivista, el supuesto de que las cosas existen ‘en sí’, se sustentan en el hecho de que ellas se nos aparecen primeramente como poseedoras de ciertas constancias, de ciertos caracteres o propiedades estables. Negar esto sería un contrasentido. Sin embargo, comprender cómo es que tal constancia o estabilidad no es en verdad algo ‘en sí’, aunque tampoco sea el resultado de la decisión de una conciencia constituyente. Las constancias perceptivas son expresión de nuestra corporeidad anónima y por esto se aparecen a nuestra conciencia como si estuvieran dadas. Pero no es así, la variación fenoménica de las cosas no es un dato exterior al sujeto perceptor porque él es parte del mundo: las distintas perspectivas que hacen al ser de la cosa son expresiones de las maneras de relacionarse el cuerpo con el mundo; nada del ser de la cosa puede serle extraño al cuerpo sintiente. A la vez, las invariantes (el tamaño y la forma constante de los objetos, por ejemplo) son correlatos de aquella variación, son correlatos del movimiento del cuerpo vivido. (Ramírez, 2013, p. 129).

## Implicaciones para la enseñanza de las ciencias

Los elementos que se han resaltado 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. Cuando hemos señalado el privilegio por la experiencia y la percepción se debe entender que esta no es estática, es una experiencia que se ha reconfigurado en cada relación que establecemos con los objetos de estudio. Por ejemplo, en el caso de los fenómenos térmicos, lo que primero era

caliente y frío como dos cualidades opuestas luego se transforma en escalas de calor construidas a partir de la relación entre la variación del estado térmico de los cuerpos comparada con otra cualidad como su dilatación. Además, con esta última organización, muy diferente a la inicial, se logra establecer una formulación que da cuenta de cuánto se dilata un cuerpo con respecto a una variación del estado térmico y permite preguntar si esta variación es siempre constante o de qué clase de variación estamos hablando. También es posible considerar cuál es la mejor unidad de medida —o instrumentos, patrones, propiedades termométricas— y con ello generar una nueva organización.

Es indudable que la experiencia que el sujeto tiene con los fenómenos térmicos no es la misma en cada paso, se ha cuestionado, se ha ampliado e incluso se han producido rectificaciones. Y con esto destacamos que la experiencia es puesta en un lugar de privilegio, pero no para petrificarla; es una experiencia que provoca modificaciones en tanto se puntualizan cuestionamientos que acentúan la necesidad de posibles formas de observación y experimentación. Además de ello, también es importante señalar que en este proceso nos vemos obligados a generar maneras de referirnos al fenómeno estudiado y, por lo tanto, se producen procesos de formalización, pues la formalización es una explicitación de las relaciones constituidas en el estudio del fenómeno.

La perspectiva fenomenológica aporta a la enseñanza de las ciencias otro elemento, para nosotros muy importante: la pérdida de sentido sobre ciertas dicotomías que habitualmente orientan la comprensión de los procesos de construcción de conocimiento científico. La fenomenología cuestiona la pertinencia de las dicotomías sujeto-objeto, mundo de las ideas-mundo de lo sensible, cualitativo-cuantitativo. Permite asumir al fenómeno y al sujeto como unidad en tanto se constituyen y definen; la relación dinámica entre pensamiento, representación y habla dentro de la comprensión y construcción de fenomenologías y teorizaciones; y la organización de la experiencia sensible dentro de los procesos de formalización. Pensar procesos de

ampliación de la experiencia y organización de los efectos sensibles dentro de la actividad de formalización y construcción teórica también implica romper con la dicotomía teoría-experimento.

## El desarrollo de un estudio histórico-crítico como una necesidad de proceder

En nuestro trabajo hemos acudido al análisis de textos de científicos pues nos interesa reflexionar sobre las disciplinas, su estructura, los objetos de estudio, los problemas sobre los que se indaga, los procedimientos que se consolidan, los lenguajes que se construyen, entre otros elementos.

Pierre Duhem en el *Análisis de la obra de Ernst Mach* ([1905] 1992), comenta:

Mach no atribuye solamente al estudio histórico una importancia capital para la comprensión de la ciencia hecha, sino que ve en este estudio una guía preciosa para el inventor. El estudio histórico de procesos de desarrollo de una ciencia es indispensable si uno *no* quiere que los conjuntos de principios que la ciencia reúne se degeneren poco a poco en un sistema de cosas adquiridas de las cuales no se comprende más que a medias, sino que quiere por el contrario un sistema enteramente libre de prejuicios. Esta investigación histórica no sólo permite comprender mejor el estado actual de la ciencia, sino que al demostrar que ésta es en parte convencional y accidental, saca de allí nuevas posibilidades. Este punto de vista superior, al tomar diversos caminos, puede abrazar una mirada más libre del conjunto de la ciencia y reconocer rutas todavía no recorridas.

No tiene por objetivo revivir a nuestros ojos las ideas de los primeros investigadores, para restaurar los primeros bosquejos de las doctrinas que han adoptado sus sucesores, de seguir en todos sus detalles la evolución de los datos que son poco a poco organizados, distinguidos, terminados, para convertirse en teorías más extensas y detalladas. Se deja esta investigación al historiador de profesión y al psicólogo. Si se apela a la historia, es solamente para captar mejor el significado real y concreto de las fórmulas económicas que constituyen hoy la ciencia. (p. 499).

El análisis histórico no es para revivir todos los hechos, ideas, relaciones y consideraciones que los primeros investigadores han hecho, como lo señala Ayala (2006):

Se trata más bien de establecer un diálogo con los autores a través de los escritos analizados, con miras a construir una estructuración particular de la clase de fenómenos abordados y una nueva mirada que permita ver viejos problemas con nuevos ojos (proceder característico de la construcción de formas alternativas de representación). Es, pues, un diálogo y una construcción intencionada que intenta, además, establecer nexos con el “conocimiento común”, dada la perspectiva pedagógica que lo anima. (p. 29).

Cuando abordamos el estudio de un fenómeno de interés para la enseñanza de las ciencias encontramos que este ha sido tratado por otros antes de nosotros, quienes han aportado a la mirada que hoy tenemos. Con esto no estamos afirmando que lo que hoy pensamos sea el resultado de un acumulado en el tiempo, sino más bien que coincidimos con otros en el planteamiento de algunas preocupaciones o preguntas. Estudiar con ellos es acudir a esa conversación desde lo que somos y hacemos. Desde lo que somos porque, aunque la estructuración de los fenómenos sea distinta, tenemos una experiencia informada producto de nuestra formación, con la cual llegamos a



indagar por nuestras preguntas para enriquecer nuestra perspectiva, para producir ampliaciones, rectificaciones y desarrollar criterios de análisis que no se pueden lograr con la manera reducida en que los fenómenos son presentados en los libros especializados de hoy.

Comprendemos que el conocimiento científico tiene un componente histórico; sin embargo, no es por ello que acudimos al estudio de los textos originales. La recurrencia al estudio de los textos de los científicos sobre nuestras preguntas es un ejercicio de comprensión de la fenomenología distinto al ejercicio del historiador de la ciencia. El historiador y el filósofo de la ciencia buscan construir categorías que le han permitido desarrollar esquemas sobre cómo se estructuran las teorías científicas, o cómo cambian las concepciones científicas de una época a otra, o cómo se configura la ciencia en un espacio sociocultural particular y su papel en este. Estas no son las cuestiones del educador en ciencias. La recurrencia al estudio de la historia de la ciencia, al estudio de los textos originales, está en vínculo con la actividad de comprender los fenómenos que estudiamos y que luego convertimos en objetos de estudio para otros, lo cual marca nuestro compromiso con el conocimiento científico.

Por último, resaltamos la necesidad de relacionarnos con los autores de los textos originales desde nuestras propias preguntas, que no toman forma de manera inmediata y casi nunca anteceden a la lectura del texto original; estas se van modificando y la formulación de nuestras intenciones en la lectura se consolida en la medida que esto sucede. Nuestro diálogo con los originales está orientado por unas inquietudes iniciales que se ven modificadas en la medida en que son puestas a prueba y cuestionadas en ese diálogo. La primera pregunta que nos hacemos posiblemente sea resuelta en los primeros momentos del diálogo o posiblemente nos percatemos de que está mal formulada, y en este ejercicio surge una formulación enriquecedora de nuestra relación con el saber, con la comprensión que vamos logrando del fenómeno o campo fenomenológico en el que estemos interesados.

A continuación, presentaremos algunas ideas sumarias a las que hemos llegado a partir del estudio de tres campos fenomenológicos que hemos señalado anteriormente: fenómenos térmicos, fenómenos de acidez de las sustancias y fenómenos voltaicos. Estudios que nos han permitido ampliar nuestra comprensión en estos mismos campos y, además, identificar elementos de los procesos de construcción de conocimiento, aspectos centrales para generar acciones dentro de la clase.

## Análisis de fenómenos y dominios fenomenológicos

Alrededor de los fenómenos térmicos, fenómenos de acidez de las sustancias y fenómenos voltaicos hemos problematizado particularmente el proceso de construcción de magnitudes (Malagón, Ayala y Sandoval, 2011). En la siguiente tabla 1, se esquematizan brevemente estos campos fenomenológicos:

**Tabla 1.** Campos fenomenológicos abordados en investigaciones en las que se detalla el avance en estos estudios (por ejemplo, en Malagón, Ayala y Sandoval, 2011)

Fenómeno	Cualidad de trabajo	Escala construida	Magnitud	Instrumento de medida
Fenómenos térmicos	Dilatación de los cuerpos. Dilatación de los gases. Potencial eléctrico	Escalas de temperatura	Temperatura	Termómetro
Fenómenos de acidez de las sustancias	Cambio de color. Corriente eléctrica. Potencial eléctrico.	Escalas de acidez	pH	pHmetro
Fenómenos voltaicos	Cantidad de sustancia transformada.	Intensidad de corriente	Intensidad de corriente	Amperímetro
	Metales en contacto	Tensión eléctrica	Fuerza electromotriz	Electroscopio

Fuente: elaboración propia

En esta tabla se deja delineado que la organización de un fenómeno se hace en torno a una cualidad que escogemos para tal organización. La elección de la cualidad no es azarosa, ni provisional, ni caótica. La cualidad proporciona los criterios para establecer la escala de medida, vincula aquello que se mide y el instrumento con el cual se mide. Por ejemplo, en el caso en la organización de *lo térmico*, la cualidad elegida es la dilatación de los cuerpos o de las sustancias, la magnitud de esta dilatación es un indicador que permite generar escalas de temperatura. La selección expresa ya una relación que se ha establecido entre dos fenómenos diferentes: la dilatación de los cuerpos y lo caliente o lo frío. La dilatación se ha estudiado en relación con la variación del calor, en su forma más directa de observación, es decir, sin acudir a una teoría que diga si la variación de la dilatación es de orden lineal o cuadrática. Se observa que el cuerpo se dilata al ponerse en contacto con otro más caliente y se contrae al ponerse en contacto con otro más frío. Cuando se establecen las escalas de temperatura se ha identificado una correlación con esta característica de la dilatación, pero es necesario determinar un patrón que valga para cualquier cambio o para cualquier momento de esta correlación y que nos sirva como algoritmo indicador de la forma de cambiar del fenómeno. Así, podemos decir que un cuerpo está frío cuando la dilatación que produce sobre otro cuerpo —como el mercurio, el alcohol o un gas— es pequeña en relación con la dilatación que produce otro cuerpo que ya clasificamos como caliente. Pero es necesario algo más para decir cuánto más frío o cuánto más caliente se encuentra un cuerpo respecto a otro. En este punto, surge otra pregunta: ¿cuál es el punto de referencia que divide lo caliente de lo frío? Vemos ahora que la cualidad elegida permite establecer una escala donde ya no existe lo caliente y lo frío como sensaciones de clases distintas, sino ahora lo caliente o lo frío está simplificado en una misma cualidad que varía en intensidad.

En síntesis, en este proceso constructivo de la organización de un fenómeno podemos decir que lo se ha hecho es comparar lo cambiante

en una clase de fenómenos ya reconocidos y vincularlo con otra clase de fenómenos que percibimos sin distinguir aún la manera de cambiar del fenómeno. Por esto, para abordar la pregunta por cómo cambia el fenómeno se utiliza una cualidad en relación con la cual se pueden establecer comparaciones, clasificaciones y ordenaciones.

Así como hemos hablado de los cuerpos fríos y cuerpos calientes, se puede hablar de ácidos y de bases. En el caso de las sustancias ácidas y básicas, la cualidad escogida son los virajes de color que ocurren frente a extractos vegetales como el tornasol, el rojo congo u otros, que denominamos *indicadores*. Con cada uno de estos indicadores se producen coloraciones claramente distintas: verdes, rojas, incoloras o azules; este cambio es el que permite establecer la clasificación. Sin embargo, es imposible llegar a una escala como la del pH solamente con estos indicadores, se requiere para ello la selección de otras cualidades y de otra organización del fenómeno que lo haga posible.

De este modo, ni las dilataciones en el primer caso, ni los indicadores en el segundo, son suficientes para cuantificar la intensidad de la cualidad. ¿Cuánto más caliente o más frío está un cuerpo que otro? ¿Cuánto más ácido o más básico es una sustancia en comparación con otra? La clasificación es, entonces, una primera forma organizada del estudio de una clase de fenómeno. La elaboración de escalas de calor o de escalas de acidez no implica tener una medida de esas cualidades, en el sentido de tener una unidad de medida que indique cuánto más o menos, o cuán mayor o menor que. Lo que sí posibilita es identificar criterios para la unificación de cualidades opuestas. Desaparecen las oposiciones caliente-frío o ácido-básico y se sustituyen por una relación de orden: mayor, menor o igual que.

Para poder establecer una relación cuantitativa de la variación de la intensidad de una cualidad con respecto a la otra se han desarrollado procesos en los cuales se llega a la construcción y fundamentación conceptual de instrumentos como el termómetro o el pHmetro. Estos instrumentos, llamados instrumentos de medida, son la síntesis de

desarrollos conceptuales como la formulación de unidades y patrones de medida.

El caso de la construcción de termómetros es muy particular: los avances de la termometría alcanzaron un nivel de desarrollo que daba garantías de confiabilidad y precisión mucho antes de resolver el asunto de qué es lo que se mide con este aparato. En el caso de la construcción de los termómetros estos instrumentos son una expresión de la organización inicial de los estados térmicos con respecto a diferentes cualidades. En el siglo XIX se construían termómetros de alcohol, de mercurio, de agua o de aceite que utilizaban como referencia los mismos puntos fijos, por ejemplo, el hielo y el agua en ebullición, a pesar de que se hacían divisiones iguales entre estos dos puntos fijos, las medidas intermedias no daban las mismas temperaturas e incluso presentaban diferencias muy notables, como se muestra en la siguiente tabla 2:

**Tabla 2.** Discrepancias entre los termómetros contruidos con líquidos diferentes

Hg	Alcohol	Agua
0°	0°	0°
25°	22°	5°
50°	44°	26°
75°	70°	57°
100°	100°	100°

Fuente: Chang, 2004, p. 58

Para abordar esta diferencia fue necesario estudiar cómo se dilatan estos líquidos, de qué factores depende su dilatación o si esta sigue diferentes patrones. El problema se puede resumir de la siguiente manera: hasta ese momento se ha supuesto que los líquidos utilizados se expanden de manera lineal con la variación de la temperatura, pero el estudio de estas discrepancias requiere que se examine en detalle esta suposición y que se acuda experimentalmente a establecer cómo es la relación entre la dilatación o expansión del líquido y la variación

de la temperatura. La cuestión es que para desarrollar este estudio se requiere hacer uso de un termómetro preciso y confiable que aún no se tiene, por lo tanto, aún no se dispone de un criterio para decidir cuál sería el “mejor” termómetro.

Otra manera de abordar esta discrepancia entre termómetros consiste en acudir a una solución de tipo lógico: si dos cuerpos que están exactamente a la temperatura de los puntos fijos se ponen en contacto térmico, deben alcanzar el equilibrio térmico, y por razones de simetría alcanzar una temperatura que sea el promedio de la de los puntos fijos; por lo tanto, al hacer la medida de esta temperatura un buen instrumento debería indicar este promedio. Pero como se ha dicho, este criterio no se basaría en consideraciones teóricas del comportamiento térmico.

Autores como Black (1770), De Luc (1772) (citados por Chang, 2004), Lavoisier y De Laplace (1780) acuden al estudio de las mezclas para abordar el problema. Si se mezclan cantidades iguales de agua a 0° y agua a 80° en un recipiente aislado, al ser introducido en esta mezcla un termómetro debe marcar 40°.

**Tabla 3.** Comparación de las lecturas de varios termómetros

Grados reales de calor (calculado por la lógica de las mezclas)	40
Termómetro de mercurio	38,6
Termómetro de aceite de olivo	37,8
Termómetro de aceite de manzanilla	37,2
Termómetro de aceite de tomillo	37,0
Termómetro de solución salina saturada	34,9
Termómetro de alcohol	33,7
Termómetro de agua	19,2

Fuente: Chang, 2004, p. 64

A partir de estos trabajos se generan las ideas de calor latente y las formas de medirlo. Con este criterio Lavoisier o De Luc eligen el termómetro de mercurio como el más confiable. Posteriormente, los estudios sobre las condiciones de los gases llevan a la construcción de

los termómetros de gases que utilizan la presión o el volumen del gas como propiedad o cualidad que cambia con la variación de los estados térmicos. Los trabajos de Gay-Lussac permiten señalar que todos los gases se expanden de la misma manera, y son la base para el trabajo que William Thomson (Lord Kelvin) desarrolla más adelante para resolver su preocupación por establecer una escala de temperatura que no dependa de la dilatación de ninguna sustancia, con lo cual logrará establecer una ley teórica de grado de temperatura. Estos trabajos son publicados por Thomson en 1896. En ellos se discute la definición teórica de unidad de temperatura y de escala de temperatura a la cual llega, basado en los fundamentos de la termodinámica que ha establecido Carnot. En estos trabajos se señalan también los problemas prácticos que involucra la construcción de dicha escala porque en todo caso tiene que acudir a un termómetro, como el termómetro de gas. Aún así, solo hasta estos desarrollos se tiene una base conceptual de qué es lo que mide un aparato como el termómetro.

Por otra parte, desde la escala de acidez hasta la construcción del pHmetro se presentan diferentes desarrollos.<sup>2</sup> Fue necesario estudiar qué factores influyen en la variación de la acidez de una solución, no solo de la clase de sustancia sino también de la concentración de las sustancias, desarrollos que concretan la relación entre los cambios de acidez en soluciones acuosas con respecto al cambio de tensión eléctrica en estas mismas soluciones. Y aunque hemos pasado de la escala cualitativa de los indicadores colorimétricos a una escala cuantitativa con respecto a la tensión eléctrica, no se abandona la escala cualitativa puesto que con ella se ha ayudado a garantizar que el instrumento y la escala construida cuenten con los criterios de confiabilidad y precisión propios para ser un buen instrumento de medida.

El estudio de la acidez en relación con la tensión eléctrica nos ha llevado a estudiar las situaciones y los criterios de comprensión sobre

---

2 Una presentación de la construcción de los pH se encuentra en Silva Gama y Afonso (2007). Y nuestros desarrollos al respecto los hemos presentado en Malagón, Ayala y Sandoval (2011, pp. 53-67).

la conducción eléctrica y la fuerza electromotriz (FEM), y además nos ha llevado a establecer los hechos experimentales por los cuales la teoría de la ionización resulta de gran contenido explicativo, en el ámbito de las soluciones acuosas, al relacionar la conducción eléctrica y la ionización de las sustancias en soluciones acuosas con la cinética y el equilibrio químico. En otras palabras, nos ha permitido no solo razonar sobre un concepto sino sobre una fenomenología y el despliegue de un conjunto de interrogantes que permiten poner nuevas perspectivas para la comprensión de la transformación de las sustancias. Así, podemos asegurar que tanto los desarrollos experimentales como los procesos de conceptualización o de formalización son el centro de la actividad de comprensión de los fenómenos de estudio.

Para el caso de los fenómenos voltaicos hemos distinguido en la tabla 1 el desarrollo de dos aspectos: la tensión eléctrica y la corriente eléctrica, que están íntimamente relacionados. Sin embargo, hay un momento en el cual deben ser distinguidos claramente, dando lugar a dos magnitudes y a dos clases de aparatos de medida diferentes. Esta es una de las razones por las cuales nos referimos al proceso de organización de estos fenómenos en términos de la construcción de un campo o dominio fenomenológico.

En los fenómenos voltaicos hemos identificado la corriente como aquella cualidad que pone en relación diversos efectos propios de lo que Alessandro Volta llamó *fluido eléctrico*. Esta es una cualidad que no es perceptible y familiar para la mayoría de los sujetos como sí puede ser lo caliente-frío o lo ácido-base, de las que hemos hablado anteriormente. Decimos familiar en el sentido de que son fenómenos frente a los cuales los sujetos tenemos una experiencia con una organización inicial, en el caso de la corriente no existe esa organización. Cuando hablamos del fluido eléctrico o corriente eléctrica se requiere construir la base fenomenológica que nos permita describirla. Por ello, el estudio de la creación de la pila de Volta resulta significativo. Volta dispuso de tazas con agua, arcos metálicos y sus dedos sumergidos en el agua para hacer experimentos basados en *experiencias sensoriales*,



en los cuales usaba su lengua, nariz, piel, párpados, todo para sentir los efectos e incluso para decir en qué condiciones estos efectos podrían ser más intensos. Los efectos sensibles no son casuales sino que resultan de una secuencia o una dependencia entre la conmoción (lo que siente) y la disposición de elementos (lo que produce la sensación).

Al establecer las condiciones de producción y detección de estos efectos, Volta hace un bosquejo de un círculo conductor, con esta idea construye y comunica una forma de pensar el problema: el circuito eléctrico. Para que sus elaboraciones conceptuales sean completamente comprendidas y/o constituidas, Volta muestra, en distintas partes de su trabajo, los efectos que produce, las variaciones para hacer de estos efectos reproducibles utilizando distintos metales y conductores líquidos. Al final logra consolidar una escala de intensidad de la tensión eléctrica, en la que organiza los metales de acuerdo con su poder decreciente de *empujar* el fluido eléctrico en los conductores húmedos. La escala va desde el zinc, cuyo poder expresado es en un mayor grado, hasta el carbono, el cual Volta incluye dentro de los metales conductores.

Como vemos, también en este caso es posible hacer escalas de ordenación y establecer criterios para hacer medidas. Además, es posible aumentar la intensidad de los efectos. Lo que Volta siente con las chispas que se producen con una botella de Leyden,<sup>3</sup> ahora lo siente con una disposición en circuito, y señala que con la botella los efectos son instantáneos, mientras que aquellos que se producen en los circuitos son más continuos y pueden también ser más intensos, por lo cual concluye que estos efectos parecidos son de la misma clase. Esta conclusión implica una ampliación de las formas de entender los fenómenos eléctricos. Pensar en la posibilidad de continuidad del

---

3 La botella de Leyden fue un dispositivo que sirvió para almacenar la carga que producían las máquinas electrostáticas. Con ella se recogía la carga que se generaba por fricción y que se liberaba mediante chispas, es decir, descargas eléctricas. Su uso fue muy común en los trabajos de los experimentadores durante la segunda mitad del siglo XVIII.

efecto de la chispa eléctrica implica poner en relación, a partir de la misma cualidad, dos fenómenos hasta ese momento considerados distintos: los electrostáticos y el fluido eléctrico. Este proceso es lo que nosotros hemos llamado *la constitución de un campo o de un dominio fenomenológico* que se amplía en cuanto se tienen nuevas experiencias y su organización es capaz de subsumir las primeras organizaciones.

En la presentación de su invento (Volta, [1800] 2000) y la fenomenología en torno al efecto volta, es posible distinguir los siguientes aspectos:

- a. Elabora formas de hablar de las condiciones para la producción y observación de los efectos. Volta describe el dispositivo objeto de la comunicación contrastándolo en su composición y funcionamiento con los aparatos conocidos en su época, específicamente con la botella de Leyden; recurso que resulta apenas obvio cuando se trata de hacer las distinciones debidas para compartir ideas; usa para ello algunos de los términos especializados de la época (materiales eléctricos y no eléctricos o conductores) además, muestra los que pueden ser considerados prototipos de su invento mediante algunos dibujos de los posibles arreglos.
- b. Describe en gran detalle los efectos sensibles y sensores utilizados con los términos *comoción, entumecimiento, golpe, pinchazo, abrasión, sensaciones de sabor*, entre otros; los describe tomando el cuerpo humano como el principal indicador del efecto. Volta incluye en su presentación la especificación de maneras de mejorar y asegurar la detección de dichos efectos sensibles.
- c. La invención del aparato electromotor va acompañada de la introducción de nuevos términos y conceptos para pensarlo y describirlo, basados en el lenguaje que es común en el momento. Las palabras tienen entonces pleno significado, y hay una razón de ser en el uso del término escogido: aquello

que antes se llamaba carga, descarga, chispa, generadores de electricidad después se denomina contacto entre superficies metálicas de diferente clase, fluido eléctrico, acción continua, fuerza o acción electromotriz (fuerza con la que el fluido eléctrico es empujado).

Cada uno de estos aspectos, destacados en el trabajo de Volta, constituyen momentos de formalización en los que se establece una relación estructural entre la producción de efectos, la constitución de un lenguaje y la delimitación de una clase de fenómenos.

Vale la pena detenernos brevemente en las implicaciones de la construcción de aparatos e instrumentos de medida, a propósito de las escalas de tensión eléctrica construidas por Volta. Pancaldi (1990) señala que Volta hace uso de los electrómetros de su época para hacer detectables las electricidades que está produciendo, pero debido a que estas corrientes son débiles debe acudir a nuevas disposiciones experimentales como el doblador y el condensador<sup>4</sup> de Nicholson, que podían ampliar la detección del efecto. Queremos destacar esto porque nos permite afirmar que el instrumento de medida no es un detector pasivo -como habitualmente se considera- sino que influye en el rango de detección. El instrumento de medida o de detección de los efectos no está por fuera de la organización del campo de fenómenos que se están estudiando, del mismo modo que lo hemos señalado ya con respecto a la construcción de termómetros o de pHmetros. Se puede decir, en forma general, que el instrumento surge de la organización propia del fenómeno y sintetiza en el objeto todo el proceso de conceptualización y organización de la teoría.

Sin embargo, la organización teórica no se estanca y requiere de ampliaciones. Por ejemplo, una es la organización que se hace cuando se produce la escala de tensión eléctrica, en la que se comparan los

---

4 El condensador y el doblador son aparatos de medida que cumplen la misma función que el electroscopio, pero diseñados de tal manera que su sensibilidad es mayor. Se recomienda revisar: Nicholson, 1788; y Pancaldi, 1990.

metales involucrados durante la producción de los efectos y que se concreta en la magnitud: la fuerza electromotriz; y otra es la relación que se establece entre la intensidad de la conmoción y el fluido eléctrico que circula y que se concreta con la magnitud corriente eléctrica. Al principio tal distinción entre tensión eléctrica y corriente eléctrica no es tan clara como ahora, son las diversas investigaciones que se desarrollaron después del trabajo de Volta las que van a hacer posible la distinción entre corriente eléctrica y tensión eléctrica. Dichas investigaciones tratan sobre el papel de los metales, la disposición entre conductores metálicos y conductores electrolitos, los factores que aumentan o disminuyen los efectos, entre otros temas. Es así como las rutas de trabajo experimental, posterior al trabajo de Volta, permitieron constituir un nuevo campo de estudio llamado *electroquímica*.

La electroquímica permite construir la equivalencia entre los fenómenos químicos y los fenómenos eléctricos, por el vínculo estrecho entre la conducción eléctrica y la descomposición de sustancias. Este vínculo solo fue posible de establecer cuando se evidenció que al interrumpir la acción eléctrica se interrumpían las acciones químicas, e igualmente, que al interrumpir las acciones químicas se interrumpían las acciones eléctricas.

Los fenómenos voltaicos ahora se relacionan con otra clase de fenómenos muy organizada como son los fenómenos químicos, y ese proceso de constitución de la electroquímica es lo que nosotros hemos llamado *la constitución de un nuevo campo o dominio fenomenológico*.

A continuación, haremos referencia a dos momentos iniciales en esta relación de dos clases de fenómenos: el primer momento se relaciona con los trabajos de Ritter (Ostwald, 1912) que se centran en la observación detallada de los efectos de oxidación que sufren los metales después de un tiempo de haber formado un circuito cerrado. Con estos estudios, Ritter compara la escala de oxidación de los metales por el oxígeno del aire (afinidad de los metales por el oxígeno) con la escala de tensión eléctrica de Volta. La coincidencia que encuentra entre las dos escalas requiere ser estudiada por Ritter

de tal manera que pueda responder qué papel tiene el electrolito en la generación de electricidad. Volta asumía que el electrolito solo tenía la función de optimizar el contacto entre metales y que no intervenía en la generación de corriente. A partir de ahí se empieza a establecer como problema de estudio la distinción entre la tensión eléctrica y la corriente eléctrica.

El segundo momento aparece durante la primera parte del siglo XIX. La organización de sustancias para generar corriente eléctrica y los efectos producidos por la corriente eléctrica sobre las sustancias condujeron a Faraday a introducir una teoría general de los fenómenos de descomposición electroquímica.

Hemos identificado que un eje organizacional del trabajo experimental sobre los fenómenos electroquímicos está relacionado con la cuantificación de la cantidad de sustancias que se producen en relación con las cantidades de corriente necesarias para producir el efecto de la conducción electrolítica. Así, el establecimiento de estas cantidades se resume en:

- a. Cantidades descompuestas de una sustancia determinada son siempre proporcionales a las cantidades de electricidad que han pasado (por el electrolito); algunas diferencias que pudiesen tener son debidas a las condiciones de la operación.
- b. Los pesos de los elementos liberados de su combinación, en un tiempo dado, son proporcionales a los equivalentes químicos de estos elementos.
- c. Las cantidades de sustancias que viajan con cantidades iguales de electricidad son químicamente equivalentes (Ostwald, 1912, pp. 96-98).

Estas afirmaciones, reconocidas como la Ley de Faraday, constituyen la primera concepción numérica, o cuantitativa, de un fenómeno electroquímico, como lo señala Ostwald (1912, p. 96), y sobre todo fijan las bases para teorizar sobre un sinnúmero de experiencias

diversas que se formalizan al comparar, por una parte, cantidades de sustancias descompuestas en los experimentos y, por otra, al comparar las cantidades de sustancias descompuestas con las cantidades de electricidad necesarias para la descomposición.

A partir de las reflexiones que hemos expuesto se destacan operaciones en las que distinguimos y delimitamos fenómenos y relaciones entre fenómenos, diferentes clases de experiencias se aglutinan bajo una misma forma de comprensión, se generan proposiciones que expresan generalizaciones y se llega a representaciones alrededor de unos campos fenomenológicos que son consolidados en estos procesos. Además, se establecen comparaciones desde las cuales se derivan *relaciones de equivalencia y proporcionalidad*, lo cual nos invita a pensar que el establecimiento de tales relaciones, y también la posibilidad de conversión entre los fenómenos químicos y eléctricos, pueden considerarse criterios que organizan la actividad de síntesis teórica en este caso, en tanto es la cuantificación de estos diversos efectos la que permite establecer relaciones o relaciones entre relaciones.

Hemos mostrado que la actividad experimental propicia la detección de efectos sensibles y el estudio de las condiciones para producirlos y alterarlos, lo cual al mismo tiempo se traduce en la selección de aspectos relevantes que permitan establecer relaciones de clasificación, ordenación y medición. En torno a esta riqueza de la actividad experimental, los dominios fenomenológicos estudiados conducen a establecer relaciones entre fenómenos de diferente clase y la constitución de nuevos campos fenomenológicos. Según esto, es posible reafirmar que la actividad experimental se puede asumir como una actividad orientada a la concreción o síntesis de planteamientos teóricos, que describiremos, en lo que sigue, como un problema central de nuestro trabajo.

## Vínculos entre campos fenomenológicos y procesos de una síntesis teórica

El análisis realizado en torno a cada uno de estos dominios fenomenológicos presentados nos ha permitido ver la emergencia de un nuevo mundo material y simbólico (por ejemplo, efecto volta, fuerza electromotriz, electrólisis, pH, corriente eléctrica, circuitos, pilas y baterías, voltaje, iones, leyes de Faraday). Nos ha permitido en particular establecer condiciones conceptuales (problemas y formas de ver) y materiales e instrumentales para que ciertos efectos sensibles sean producidos, interpretados y organizados. Asimismo, hemos podido delimitar el contexto desde el cual nuevas entidades, conceptos, magnitudes, procederes y elaboraciones teóricas, ligados a este dominio fenomenológico, adquieren sentido.

Hemos visto, además, el cruce de procesos de diferentes tipos y síntesis producidas a partir de estos que se concretan a su vez en el origen de nuevos campos fenomenológicos y con ello en la estructuración y concatenación de enunciados teóricos. Igualmente, se ha podido hacer evidente el entrelazamiento de los modos de percibir, de pensar, de hacer y de hablar de ello, así como la configuración de estrechas relaciones entre los procesos de detección y medida, el experimento, las representaciones y la consiguiente construcción y formalización de fenomenologías.

Por último, nos ha permitido mostrar el carácter dinámico y múltiple del dominio fenomenológico. Nos lo ha mostrado como una entidad extendida en el tiempo, dinámica y múltiple, como un proceso no lineal, susceptible de muchas reconstrucciones o formas de organizar.

Ostwald afirma que se hacen procesos de diferenciación de los elementos que componen o de las variables que permiten hablar de un dominio fenomenológico para luego, por ejemplo, establecer relaciones entre ellas y finalmente llegar a conceptualizaciones que hacen síntesis de los diferentes casos o de las diferentes circunstancias

que componen la organización del fenómeno (Ostwald, 1911, p. 32). Esta síntesis es lo que reconocemos en Mach como *economía del pensamiento*. Según Mach, una combinación sintética implica la unión de experiencias ordinarias que han sido llevadas hasta una representación cuantitativa. Es esta unión la que permite que las afirmaciones sobre algo ganen solidez. En otras palabras, la generalización de experiencias ordinarias y la adopción de representaciones cuantitativas para estas generalizaciones son las que posibilitan generar proposiciones importantes, aquellas que se constituirán en leyes, principios o teorías (Mach, 1948). Este proceso, sin embargo, no es simple, tan solo en la organización de un concepto existe una red de operaciones complejas.

Los dos autores, Mach y Ostwald, nos llevan a considerar que los conceptos, las teorías o las perspectivas teóricas cumplen con las características que le hemos asignado a la síntesis. Para establecer modos de diferenciación entre elementos de teorización entonces tenemos que considerar que la síntesis es un entrelazamiento entre la objetivación de un determinado aspecto de lo estudiado (construcción de efectos sensibles) y la asignación simbólica (lenguaje).

Duhem resalta de la obra de Mach la idea de la *economía de pensamiento*. Señala que lo valioso de su obra está en la forma como él logra encerrar, condensar, concentrar en un reducido número de casos útiles el espíritu y el aporte de sus percepciones. Este es también el objeto propio del trabajo científico: lograr tener la mayor parte de la realidad posible en una forma lo más reducida posible, y es en esta economía que se sostiene su progreso.

En la naturaleza, dice Duhem, solo hay hechos, y una ley única que los reúne no es más que la copia de caracteres comunes entre todos estos hechos, o mejor de caracteres comunes que nos interesan y que están resumidos por nuestra abstracción. Mach señala que cuando hablamos de causa y efectos es porque hacemos surgir aquello que es importante para nosotros en una copia mental que se selecciona arbitrariamente en el pensamiento, pero que en la naturaleza no existen como tal ni causas, ni efectos, pues la naturaleza solo se presenta



una vez, las demás son copias, no existen sino en la abstracción que nosotros empleamos a fin de copiar los hechos en el pensamiento, estas son repeticiones de casos parecidos en los que se intenta hacer coincidir circunstancias idénticas para consecuencias idénticas.

Es así que la ley física resume un número inmenso de hechos, bajo el carácter que nosotros hayamos puesto como importante. La ley es un método de reconstrucción conciso que resume el uso que hacemos de múltiples casos de un mismo fenómeno. “Las fórmulas más y más amplias y generales de la física teórica son concentraciones, de resúmenes abstraídos que provienen de muy lejos. La ciencia misma puede ser considerada como un problema de mínimo, que consiste en exponer los hechos tan perfectamente como sea posible con el menor gasto intelectual” (Duhem, [1905] 1992, p. 446).

¿Cómo llegar a la presentación de una fórmula siguiendo este método? Esta fórmula pretende ser una representación condensada de la experiencia, y a su vez su demostración consiste en poner a la vista los hechos que ella quiere representar; será mejor si representan el mayor número de hechos posibles, con la mejor exactitud y por procesos más simples.

De acuerdo con Mach, toda ciencia tiene la misión de remplazar la experiencia y debe permanecer en el dominio de la experiencia. Los pensamientos más científicos son aquellos que permanecen válidos sobre un dominio muy extenso que complementa y enriquece más la experiencia.

Se puede establecer el valor de la ley al comparar las consecuencias con cada vez más numerosos hechos, pero este es un proceso de demostración y no un proceso de invención. El proceso de demostración solo se puede emplear si la ley ya está claramente formulada, no puede sugerir la fórmula. El proceso de invención no tiene codificación, el inventor de una ley la sugiere por muy diversas consideraciones, las más preferidas son la inducción, la generalización y la analogía.

El conocimiento intuitivo es un confuso conjunto de hechos experimentales y no analizado, adquirido en épocas imprecisas de nuestro desarrollo intelectual. Según Mach, juegan una confianza muy particular. Al no saber cómo los adquirimos no podemos criticar su modo de adquisición y no podemos contribuir a su formación. Tienen el atributo de *a priori* y anterior a toda experiencia. Esta opinión, sin embargo, no se puede sustentar; por ello, cualquiera que sea el papel que cumplen en el desarrollo de la ciencia, la autoridad de los conocimientos intuitivos debe ceder a aquellos principios claramente expuestos e intencionalmente observados.

## Consideraciones que se derivan para la enseñanza de las ciencias

La perspectiva fenomenológica que se ha venido consolidando a través de la indagación realizada por el grupo de investigación en los últimos años, nos lleva a considerar que el análisis y caracterización de los procesos de conceptualización, síntesis y teorización implicados en la constitución de dominios fenomenológicos y conformación de nuevos campos fenoménicos, son un importante objeto de estudio para el planteamiento de alternativas pedagógicas mediante las cuales se generen condiciones para dinamizar procesos tendientes a recuperar, ampliar y organizar la experiencia de los sujetos en el aula de ciencias.

Un aspecto que ha aportado elementos muy importantes es el vínculo con docentes en ejercicio, y la tarea conjunta de discutir y diseñar actividades de aula intencionadas. Esto ha permitido, por una parte, poner en el escenario los supuestos que se delineaban para el experimento en relación con la enseñanza de las ciencias y, por otra, superar la dicotomía teoría-práctica. Así, las actividades que se han desarrollado incorporan procesos experimentales que llevan a los grupos de profesores en formación, o profesores en ejercicio, a hacer

reflexiones sobre el vínculo entre la enseñanza de las ciencias y la construcción de fenomenologías.

Como se ha señalado anteriormente, los sujetos tienen una experiencia organizada en virtud de su relación con el mundo, que puede parecer natural en algunos casos, pero en otros casos es necesario construir esta experiencia. Por ejemplo, en el caso de los fenómenos térmicos solo es necesario hacer explícitos los modos de hablar de frío o caliente, lo cual de hecho ya ubica el campo fenomenológico de estudio. En las sucesivas acciones con los profesores en formación, o en ejercicio, hemos trabajado en la comprensión de las propiedades termométricas, pues el calentamiento genera cambios en diferentes propiedades de los cuerpos y estos cambios pueden ser utilizados para establecer posibles escalas de grados de calor. Establecer una relación y hacer mediciones de temperatura implica comprometer supuestos conceptuales: relacionar con la temperatura el cambio de volumen o de presión de un gas, la variación del volumen de un líquido, cambios en la resistencia eléctrica, o la diferencia de potencial generada en una juntura de metales diferentes.

Esto se traduce en actividades experimentales planteadas con los diferentes grupos, que terminan en reflexiones sobre problemas nuevos como las dificultades que se tienen para establecer y usar como criterio de trabajo los puntos fijos en el establecimiento de las escalas de temperatura y la relación entre la propiedad termométrica y la definición de grado de calor. En otros casos, como los fenómenos magnéticos, por ejemplo, notamos que la experiencia que normalmente se tiene de estos se reduce a efectos de atracción o repulsión de materiales imantados, siendo más evidente la atracción que la repulsión. Por lo tanto, es necesario construir un conjunto de efectos desde los cuales se pueda caracterizar lo magnético. Las actividades experimentales que se planean resultan útiles para construir el campo de efectos, relaciones y lenguajes donde se puede ubicar la discusión. A estos procesos los llamamos *construcción y ampliación de la experiencia*. La experiencia se amplía con la proposición de situaciones,

pero el objetivo no es tener muchas experiencias de las que se pueda hablar, sino priorizar las actividades para que las experiencias que se organizan se enfoquen en términos disciplinares hacia la construcción de un objeto de estudio donde se caractericen y elaboren algunas relaciones con los cuerpos y el medio que permitan organizar el fenómeno y representarlo. Esto se ha puesto como objeto de investigación en algunos trabajos de maestría (ver: Rodríguez Naranjo, 2016).

Además del vínculo con la experiencia que hemos procurado, destacamos que si el ámbito de la experiencia se transforma también se transforma el ámbito del lenguaje con el que nos referimos a esa experiencia. Consideramos que cuando se logran hacer descripciones de los fenómenos que estudiamos, como la construcción de la escala de temperatura, o el estudio de la relación entre los cuerpos y los medios en las interacciones magnéticas, se vinculan a la descripción factores o efectos que son considerados criterios para las comparaciones que son la génesis de las magnitudes que organizan o estructuran el fenómeno de acuerdo con un criterio o categoría.

Como hemos dicho antes, el reconocimiento de un campo fenomenológico implica diferenciar una cualidad o conjunto de cualidades, como se destacó anteriormente en la tabla 1. Los procesos de organización de las cualidades hacen posible hablar de una forma diferente del mismo fenómeno. Por ejemplo, cuando se ha propuesto el estudio de la flotación se observa que si se introducen cuerpos diferentes en medios diferentes se ven 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 que es flotar. Esta organización permite hacer una primera clasificación de los cuerpos y hacer unas escalas, según las cuales 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. Entonces, estos análisis dan elementos para

un primer esbozo de un instrumento de medida, para producir una escala u ordenación de la cualidad. Esta experiencia se ha publicado en Torres Cabra (2011).

En los casos anteriores hemos señalado que se logra la construcción de escalas de temperatura o de flotación. En relación con la construcción de las escalas se construyen aparatos de medida (aunque no son, en el sentido estricto, instrumentos de medida) como indicadores, densímetros, pHmetros, entre otros. Así pues, el aparato de medida puede ser pensado como la concreción de una organización muy estructurada que se hace desde un campo fenomenológico y eso implica, como se dijo anteriormente, que la construcción de magnitudes y del campo fenomenológico sea más bien el punto de llegada y no el punto de partida.

Otro caso en el cual se logran hacer clasificaciones y organizaciones que hemos estudiado es el de los fenómenos de acidez y basicidad. En este caso, los primeros ejercicios logran establecer criterios desde los cuales se clasifican los comportamientos ácidos y básicos por el cambio de coloración cuando interactúan con otras sustancias que se han llamado indicadores. El logro de estas clasificaciones, e incluso el desarrollo de las ordenaciones, se han publicado en Barragán Orjuela y Ramírez Acosta (2013) sobre la base de las conceptualizaciones que hemos hecho. Pero profundizar sobre estas ordenaciones requiere producir situaciones en las cuales, a partir de la revisión de tales ordenaciones, se puedan distanciar 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, en procesos como los de neutralización o las primeras mediciones de la fuerza de acidez. Esto se desarrolló en la ruta de aula diseñada e implementada por Caro Castellanos y Mosquera Quevedo (2015) en su tesis de maestría.

Desde la perspectiva fenomenológica que se ha venido presentando, la organización de cualidades, la producción de descripciones, ordenaciones y clasificaciones, la construcción de escalas de ordenación y de medición, la comprensión de las magnitudes y unidades de medida, son los elementos conceptuales y epistemológicos que han orientado las actividades experimentales que se proponen con los profesores en formación o en ejercicio.

En otras propuestas de enseñanza persiste una diferenciación entre teoría y práctica, o entre lo cualitativo y lo cuantitativo, que se puede caracterizar como lo presentan I. Koponen y otros (Koponen et al., s.f.). Estos autores analizan el proceso de formación de conceptos o magnitudes físicas en tres fases: una primera fase cualitativa en la que se obtiene información vía la percepción, se construyen los esquemas de significado para el reconocimiento y clasificación de objetos y fenómenos; una segunda fase cuantitativa en la que mediante la cuantificación se elaboran las cantidades físicas; y una tercera fase de estructuración que da la posibilidad de plantear las relaciones entre las cantidades involucradas y con ello las regularidades y leyes que caracterizan el fenómeno estudiado. Sin embargo, nuestro grupo de investigación se aleja de esta postura, en tanto que en esta se mantiene una relación de exterioridad de los conceptos al considerar que estos están ya dados y que un problema central de la enseñanza de las ciencias es la construcción de esquemas de significación de los mismos; en este sentido, se insiste en una lógica de conceptos aislados que deben ser relacionados en etapas posteriores.

Para nosotros, cada concepto está imbricado con una serie de acciones que posibilitan su significación y, a su vez, con otros conceptos. Entender este proceso constructivo y relacional, que es particular en cada caso de estudio, nos permite ampliar una propuesta de enseñanza donde el estudiante, que es sujeto de conocimiento, sea partícipe de la construcción de conceptos. En otras palabras, en la propuesta de Koponen, los conceptos —que ya están establecidos— se llenan de significados por un proceso de ejemplificación o muestreo demostrativo;

esta actividad se realiza por la asignación de una estructura conceptual ya definida que es, según Koponen, el punto de partida. En nuestra propuesta, por el contrario, se espera alcanzar una estructura conceptual que es el punto de llegada. Así pues, buscamos identificar y profundizar en el proceso constructivo de la conceptualización y/o de la teorización, profundizar en la manera de establecer los criterios de selección que permiten este proceso, y que esto nos sirva a nosotros para fortalecer la propuesta de enseñanza siendo coherentes con la mirada fenomenológica.



## Referencias

- Ayala, M. y Malagón, J. (2008). Caracterización del movimiento de rotación respecto a un punto fijo. Análisis de un proceso de formalización. En M. Ayala et al. (eds.), *Los procesos de formalización y el papel de la experiencia en la construcción del conocimiento sobre los fenómenos físicos* (pp. 69-100). Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional y Universidad de Antioquia.
- Ayala, M. M. (2006). Los análisis histórico-críticos y la recontextualización de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades. *Revista Pro-Posições*, 17(49), 19-37.
- Ayala, M., Malagón, J. y Sandoval, S. (2014). El lenguaje y la construcción de fenomenologías: el caso del efecto Volta. *Revista Brasileira de História da Ciência*, 7(2), 203-213.
- Barragán Orjuela, Y. y Ramírez Acosta, M. (2013). Estrategias en el aula: de la experimentación a la formalización de los fenómenos naturales. En Malagón et al., *Construcción de fenomenologías y procesos de formalización: un sentido para la enseñanza de las ciencias* (pp. 135-161). Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional, CIUP.
- Caro Castellanos, O. A. y Mosquera Quevedo, D. A. (2015). *Análisis histórico-crítico y actividad experimental en la enseñanza de la base*. Trabajo de maestría en Docencia de las Ciencias Naturales. Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá.
- Chang, H. (2004). *Inventing temperature*. London: Oxford University Press.
- Duhem, P. (1992) [1905]. Analyse de l'ouvrage de Ernst Mach. La Mécanique. En P. Duhem, *L'Évolution de la Mécanique* (pp. 443-462). Paris: Librairie Philosophique J. Vrin.



- \_\_\_\_\_. (1914) [1906]. *La teoría física, su objeto y su estructura*. Barcelona: Herder.
- García, R. (1997). *La epistemología genética y la ciencia contemporánea*. Barcelona: Gedisa.
- Heidegger, M. (1927). *Ser y tiempo*. Escuela de Filosofía Universidad ARCIS. Recuperado de [www.philosophia.cl](http://www.philosophia.cl).
- Koponen, I. T., Kurki-Suonio, K., Jauhiainen, J., Hämäläinen, A. y Lavonen, J. (s.f.). *The role of experimentality in concept formation in physics: quantifying experiments and invariances*. Helsinki: Department of physics and Department of Teacher Education, University of Helsinki.
- Lavoisier, A. L y Laplace, S. (2015) [1780]. Memorias sobre el calor. *Revista Física y Cultura Cuadernos sobre Historia y Enseñanza de las Ciencias*, 9, 133-150.
- Mach, E. (1948). *Conocimiento y error*. Buenos Aires: Espasa Calpe.
- Malagón Sánchez, J. F. (2014). Teoría y experimento, una relación dinámica: implicaciones en la enseñanza de la física. *Revista Física y Cultura: Cuadernos sobre historia y enseñanza de las ciencias*, 8, 95-104.
- Malagón, J., Ayala, M., y Sandoval, S. (2011). *El experimento en el aula. Comprensión de fenomenologías y construcción de magnitudes*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Nicholson, W. (1788). A description of an instrument which by the turning of a winch, produces the two states of electricity without friction or communication with the earth. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 78, 403-407.
- Ostwald, W. (1911). *La energía*. Madrid: Librería Gutemberg de José Ruiz.

- \_\_\_\_\_. (1912). *L'évolution de l'électrochimie*. Paris: Librairie Félix Alcan.
- Pancaldi, G. (1990). Electricity and life. Volta's path to the battery. *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, 21(1), 123-160.
- Ramirez, M. (2013). *La filosofía del quiasmo. Introducción al pensamiento de Merleau-Ponty*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Rodríguez Naranjo, E. (2016). *Construcción de representaciones en la actividad experimental a propósito de la fenomenología de lo magnético*. Trabajo de maestría en Docencia de las Ciencias Naturales. Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá.
- Sartre, J. P. (1954). *El ser y la nada*. Buenos Aires: Iberoamericana.
- Silva Gama, M. y Afonso, J. (2007). De Svante Arrhenius ao peagâmetro digital: 100 anos de medida de acidez. *Química Nova*, 30(1), 232-239.
- Torres Cabra, C. A. (2011). La densidad como magnitud organizadora del fenómeno de flotación de los cuerpos. En J. Malagón, M. Ayala y S. Sandoval, *El experimento en el aula. Comprensión de fenomenologías y construcción de magnitudes* (pp. 115-137). Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Volta, A. (2000) [1800]. Sobre la electricidad excitada por el simple contacto de sustancias conductoras de distintas especies. *Revista de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas*, 23(48), 763-748.

Este libro fue editado por el Grupo Interno de Trabajo Editorial  
y la Subdirección de Gestión de Proyectos-CIUP de la  
Universidad Pedagógica Nacional, se compuso en caracteres  
Minion Pro y fue impreso por Xpress Estudio Gráfico y Digital S.A.,  
Bogotá D. C., Colombia.

Más de cuarenta años de investigación educativa del país se expresan hoy en los aportes que la Universidad Pedagógica Nacional ha hecho a través del CIUP. En este proceso, la trayectoria de los grupos de investigación, algunos de los cuales registran su existencia desde 1978, ha evidenciado la amplia y prolífica producción académica de los profesores, la cual ha sido difundida a través de diferentes medios (digitales e impresos) y variados escenarios de discusión.

Con el propósito de hacer un balance de esta producción intelectual y de visibilizar la trayectoria investigativa de los grupos de la Universidad, el Centro de Investigaciones-CIUP, el Grupo Interno de Trabajo Editorial y el Comité de Publicaciones invitaron a los grupos de investigación a formar parte de la Colección CIUP 41 años y finalmente quince grupos de la Universidad atendieron esta iniciativa, que responde a los propósitos establecidos en el *Plan de Desarrollo Institucional 2014-2019: Una universidad comprometida con la formación de maestros para una Colombia en paz.*



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA  
NACIONAL  
*Educadora de educadores*



ISBN: 978-958-5416-89-5



9 789585 416895