

LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL: CONSTRUCCIÓN DE FENOMENOLOGÍAS Y PROCESOS DE FORMALIZACIÓN

The experimental activity: Construction of phenomenologies and formalization processes

Francisco Malagón Sánchez

Sandra Sandoval Osorio

María Mercedes Ayala Manrique

Universidad Pedagógica Nacional

Resumen

Una relación filosofía-educación en ciencias se ilustra mediante un estudio de caso. Basados en un enfoque fenomenológico, se muestra la actividad experimental en ciencias como un espacio donde se establece una relación íntima y dinámica entre la construcción de fenomenologías y el desarrollo de procesos de formalización y conceptualización. Se precisa primero lo que se entiende con los términos: fenómeno y fenomenología, así como experimento, experiencia y experimentación. Luego se presenta cómo se concreta esta perspectiva en el caso particular del estudio de las cualidades de acidez y basicidad de las sustancias y la formulación del pH.

Palabras claves: filosofía-educación en ciencias, fenomenologías, formalización, experimentación, pH.

Recibido: diciembre 17 de 2012 aprobado: abril 11 de 2013

THE EXPERIMENTAL ACTIVITY: CONSTRUCTION OF PHENOMENOLOGIES AND FORMALIZATION PROCESSES

Abstract

A relationship philosophy-science education is illustrated by a case study. Based in a phenomenological approach, experimental activity in science is shown as a space which establishes a close and dynamic relationship between the construction of phenomenologies and development of formalization and conceptual processes. It is clarified first what it is understood by the terms: phenomenon and phenomenology, as well as experience, experiment, and experimentation. Then it is shown the way this perspective is concreted in the particular case of the study of the qualities of acidity and alkalinity of substances and the formulation of pH.

Keywords: philosophy – science education, phenomenology, formalization experimentation, pH.

José Francisco Malagón Sánchez

Profesor asistente del Departamento de física de la Universidad Pedagógica Nacional. Dirección electrónica: jmalagon@pedagogica.edu.co

Maria Mercedes Ayala

Profesora catedrática titular del Departamento de física de la Universidad Pedagógica Nacional. Dirección electrónica : ayalam49@gmail.com

Sandra Sandoval Osorio

Profesora auxiliar del Departamento de Química de la Universidad Pedagógica Nacional. Dirección electrónica: ssandoval@pedagogica.edu.co

(Véase de los autores: pág. 137-138).

LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL: CONSTRUCCIÓN DE FENOMENOLOGÍAS Y PROCESOS DE FORMALIZACIÓN

J. Francisco Malagón Sánchez
Sandra Sandoval Osorio
María Mercedes Ayala Manrique
Universidad Pedagógica Nacional

1. 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 cuáles 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, poniéndose de presente la importancia que tiene la reflexión epistemológica en la orientación del quehacer pedagógico en la educación en ciencias. Es así como en este artículo se presenta mediante un estudio de caso una ilustración de una relación filosofía – educación en ciencias.

Primero se pone en consideración 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 exponer cómo estos presupuestos permiten nuevas formas de actuar, nuevas formas de pensar y nuevas formas de hacer en el aula. Se muestra 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 presenta 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.

2. 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, en lo cual 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.

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 (1931, 9-24) y Heidegger (1949, 3), 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 ésta 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.

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, 2002, 49). 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, sólo 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.

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, éste cambia. Cuando un cuerpo cae alguien podría ver ecuaciones de movimiento o de energía; alguien que sea relativista está viendo otro tipo de relaciones en el espacio, deformaciones del mismo, etc.; es decir, ven 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 puntos¹ implican que sólo 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 éste 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 aún 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.

¹ Una discusión inicial de esta perspectiva fenomenológica se encuentra en Sandoval (2008)

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 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 estudian². 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.

3. 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 al, 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 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.

² 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 donde 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:

- *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.
- *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.
- *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 discriminan factores o efectos que han adquirido importancia, comparaciones en las que se establece un criterio de orden o de agrupación y se, establecen 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 con formalización se entiende también la construcción de palabras, signos, dibujos, procedimientos, proposiciones, entre otras, que permiten empezar a hablar del fenómeno.

- *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 ésta 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 y 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 le 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 en dónde termina lo cualitativo y en dónde empieza lo cuantitativo³. Se supera igualmente la dicotomía teoría /

³ Consideramos que lo cualitativo y lo cuantitativo no se rompe 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

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 las ciencias son los resultados producidos al interior de las comunidades científicas y estandarizados por los currículos de ciencias (Malagón et al, 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 influida por la actividad experimental y así mismo la actividad experimental está muy relacionada con la actividad teórica⁴, tanto así que sería casi impensable diseñar un experimento si no es desde algún enfoque conceptual o teórico⁵. Una tercera dicotomía que se supera con la perspectiva fenomenológica expuesta para orientar el trabajo experimental en el aula, muy 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 muy 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.

⁴ 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 como tal privilegio ha limitado la importancia y comprensión de la experimentación en la ciencia (Ferreiros, J. y Ordoñez, J. 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 éste se refutan o verifican las predicciones basadas en la teoría. Desde esta perspectiva la teoría es condición de posibilidad del experimento: mediante ésta 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 esta forma rígida, esta relación es compleja y dinámica” (Ayala, M.M. et al., 2011, 45).

⁵ 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.

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, hacer, 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 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.

4. 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, M.M. y otros, 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 cuasi 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, 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 éstos; 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 esperaría que sucediera⁶.

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 éstos 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 a 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

⁶ Por ejemplo, en Ayala et al. (2008) 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 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 (Ayala, M.M. et al., 2008, 69-99).

en la determinación del fenómeno), la organización de formas de medir, el diseño de instrumentos de medida⁷. 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 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 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 más 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 y 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.

5. 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 comportamientos 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.

⁷ Para este caso resulta interesante el trabajo expuesto en Medina, J. y Tarazona, M. (2011) El caso de la medición del potencial eléctrico: un ejemplo de recontextualización de saberes en Malagón et al. (2011).

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 respecto⁸. Generalmente cuando se aborda el problema de la flotación, se empieza a trabajar alrededor del principio de Arquímedes y de magnitudes importantes para explicar ese fenómeno como es 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 define cuando se parte de la exploración del fenómeno de la flotación, se empieza a mirar 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 que es flotar. Esta organización permite hacer una primera clasificación de los cuerpos y hacer unas escalas, donde 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

⁸ Véase: La densidad como magnitud organizadora del fenómeno de flotación de los cuerpos. ¿Por qué el aceite siempre tiene que ir arriba del agua? de Torres, C. A. (2011). En Malagón et. al. (2011).

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 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: éste se va transformando a medida que se producen nuevas organizaciones.

6. 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 de medida 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 fenómeno⁹, en el sentido de que 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 se pone en íntima relación entre la construcción de una magnitud y el diseño de instrumentos de medida. Aquí hay dos aspectos importantes: cuando se logra establecer cierto tipo de

⁹ Conferencia realizada 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.

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, así, 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, entonces, 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 grados 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; 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 lejana, porque un instrumento de medida que sería una extensión de los sentidos, por decirlo de alguna manera, estaría muy 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 viene desde el momento en que se producen 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 del problema de la electrostática, de la flotación de los cuerpos, del problema del pH, del problema de la fuerza, el problema de la energía, el problema de 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.

7. 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, 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 que cuando publicó la obra “Experimental History of Colours” (1964), 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, 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 los unos y a los otros y que permiten ahora referirse a este tipo de sustancias. Sin embargo, no es útil para poder dar cuenta de cuál es más ácido 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, 51) 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 ejemplo, 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 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. Éstos son, como se ha señalado en este documento, distintos momentos de síntesis teórica, que son generados a través de diferentes momentos experimentales, en 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 ocasiona 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 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 diferentes ámbitos del comportamiento químico de las sustancias.

Referencias Bibliográficas

- ARCA, M.; Guidoni, P.; Mazzolli, P. (1990). *Enseñar ciencia. Cómo empezar: reflexiones para una educación científica de base*. España: Paidós Educador.
- ARRHENIUS, S. (1903): "Development of the theory of electrolytic Dissociation". *Nobel Lecture, December 11, 1903*.
- AYALA, M.M., et al. (2007): "Consideraciones sobre la formalización y matematización de los fenómenos físicos", *Práxis filosófica*, N°. 25, 2007, pp. 40-54.
- AYALA, M.M., et al. (2008): "Caracterización del movimiento de rotación respecto a un punto fijo. Análisis de un proceso de formalización" en Ayala, M.M., et al. (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. pp. 69-100

- AYALA, M.M., et al. (2011): “Magnitudes, medición y fenomenologías”, *Revista de enseñanza de la física*, Rosario-Argentina Vol. 24, N°. 1, pp. 43-54.
- BOYLE, R. (1664). *Experimental History of Colours*. Tomado de <http://www.csulb.edu>
- FERREIROS, J. y ORDOÑEZ, J. (2002): “Hacia una filosofía de la experimentación” en *Crítica, Revista Hispanoamericana de Filosofía*. 34(102), pp. 47-86.
- FLÓREZ, I.D. y GÓMEZ, A.L. (2012). *Construcción de explicaciones desde la experiencia*. Tesis de grado Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- HEIDEGGER, M. (1949). *La cosa. Conferencia pronunciada en Bremen en diciembre de 1949*. Traducción de Eustaquio Barjau en Conferencias y artículos. Barcelona: Ediciones del Serbal.
- HUSSERL, E. (1931). *Ideas: General Introduction to Pure Phenomenology*. Primera edición, 1931, Reprinted 2002 by Routledge.
- MALAGÓN, F.; AYALA M.M.; SANDOVAL, S. (2011). *El experimento en el aula: Comprensión de las fenomenologías y construcción de magnitudes*. Bogotá: 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 al. (eds.) *El experimento en el aula: Comprensión de las fenomenologías y construcción de magnitudes*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional, pp. 63-87
- PARMÉNIDES (2002) *Poema Fenomenológico*. En: Los presocráticos. Fondo de Cultura Económica. Octava reimpresión. 2002.
- SANDOVAL, S. (2008): *La comprensión y construcción fenomenológica: una perspectiva desde la formación de maestros de ciencias*. Tesis de grado Maestría en Educación. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- SEGURA, D., (1993). *La enseñanza de la física: dificultades y perspectivas*. Bogotá: Fondo Editorial 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 al. (2011)(Eds.) *El experimento en el aula: Comprensión de las fenomenologías y construcción de magnitudes*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional, pp. 107-128.

José Francisco Malagón Sánchez

Profesor asistente del Departamento de física de la Universidad Pedagógica Nacional. Licenciado con estudios principales en física y Magister en docencia de la física de la Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia. Miembro del Grupo Física y Cultura. En 2008 publicó junto con otros investigadores el libro *los procesos de formalización y el papel de la experiencia en la construcción del conocimiento sobre los fenómenos físicos*. Y en 2011 el libro *El experimento en el aula, comprensión de fenomenologías y construcción de magnitudes*.

Dirección electrónica: jmalagon@pedagogica.edu.co

Maria Mercedes Ayala

Actualmente se encuentra vinculada como profesora catedrática titular del Departamento de física de la Universidad Pedagógica Nacional. Estudios de licenciatura en física y matemáticas de la Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia. Obtuvo los títulos de Bachelor of Arts (Física y Matemáticas) del Whitman College, Estados Unidos y Master of Science Physics de Indiana University, Estados Unidos. Becada por Latin American Scholarship of American Universities. Miembro del Grupo Física y Cultura. En 2008 publicó junto con otros investigadores el libro *los procesos de formalización y el papel de la experiencia en la construcción del conocimiento sobre los fenómenos físicos*. Y en 2011 el libro *El experimento en el aula, comprensión de fenomenologías y construcción de magnitudes*.

Dirección electrónica : ayalam49@gmail.com

Sandra Sandoval Osorio

Profesora auxiliar 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, Bogotá, Colombia. Miembro del Grupo Física y Cultura. En 2011 publicó junto con otros investigadores el libro *El experimento en el aula, comprensión de fenomenologías y construcción de magnitudes*.

Dirección electrónica: ssandoval@pedagogica.edu.co