

Magnitudes, medición y fenomenologías

María Mercedes Ayala¹ - José Francisco Malagón¹ - Sandra Sandoval²

¹Departamento de Física. ²Departamento de Química.
Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá, Colombia.
ayalam49@gmail.com - jmalagon@pedagogica.edu.co - sandraupn@yahoo.com

En el presente artículo se intenta responder a la pregunta: qué análisis sobre la actividad experimental puede aportar elementos para la enseñanza de las ciencias, o más específicamente, qué aspectos de la actividad experimental pueden resultar pertinentes para dicho propósito. En este sentido, el análisis de los procesos de construcción de magnitudes, de las formas de medición y la consecuente organización de la experiencia se constituye en una posible respuesta a esta inquietud.

Palabras clave: actividad experimental, magnitudes, medición, fenomenologías, formalización.

This article attempts to answer the question: what experimental analysis of the activity may provide elements for teaching science, or more specifically, what aspects of the experimental activity may be relevant for this purpose. In this sense, the analysis of the magnitude construction processes, the forms of measurement and the consequent organization of experience, become a possible answer to this concern.

Keywords: experimental activity, magnitudes, measurement, phenomenologies, formalization.

Consideraciones generales

El experimento ha sido el rasgo que identifica a las llamadas ciencias empíricas. Dado este carácter es claro que debe jugar un papel central en la enseñanza, si bien a su vez se reconoce que los procesos cognitivos desplegados en el aula difieren de aquellos vinculados a la actividad científica como tal. No obstante ello, la concepción que se tenga del experimento en la actividad científica y de su papel en ella termina siendo definitiva en la determinación de la forma en que es incorporado al trabajo en el aula.

Por otro lado, la concepción que se asuma del experimento en su relación con actividad científica depende en buena medida de la imagen que se haya configurado en torno a lo que se entiende acerca de que es ciencia.

Como algunos autores han destacado, el privilegio que se le ha dado a la teorización en la actividad científica ha limitado

la importancia y comprensión de la experimentación en la ciencia (Ferreiros y Ordoñez, 2002). La relación teoría experimento es y ha sido un eje para el análisis del papel del experimento en la actividad científica. En este sentido, el papel asignado al experimento ha oscilado entre dos posiciones extremas: el experimento es considerado 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 forma rígida. Esta relación es compleja y dinámica.

Un análisis con fines pedagógicos de estudios históricos de esta relación permite destacar y diferenciar nuevas facetas sobre las formas que adopta el experimento y la relación que guarda con la teoría. Así, examinando el análisis que diversos autores efectuaron sobre esta relación en el siglo XVIII y comienzos del XIX encontramos (Malagón et al., 2010):

- Que la actividad experimental orientada a ampliar la experiencia sensible se diferencia sustancialmente de aquella dirigida a contrastar hipótesis, donde los resultados experimentales se pueden prever a partir ya sea de una elaboración teórica propiamente dicha o de las predicciones que se pueden derivar de la organización lograda de la experiencia cotidiana.
- Una actividad experimental orientada a detectar el efecto de propiedades, a visualizar fenómenos inaccesibles y a exhibir rasgos y peculiaridades de los fenómenos que se constituyen en su misma representación.¹
- Una actividad experimental orientada a hacer uso de la organización conceptual lograda para analizar la operación de dispositivos y mejorar su funcionamiento y avanzar en la exploración de un fenómeno.²
- Como mediante el desarrollo de procesos de medición y aplicación de principios generales se pasa del plano cualitativo al cuantitativo con el que se matematizan las cualidades observadas.
- Que la actividad experimental se puede orientar a concretar un planteamiento teórico.³

Si se tienen en cuenta los cambios de perspectiva de la filosofía de la ciencia desde mediados del siglo XX es posible evidenciar las diversas imágenes de ciencia que se han puesto en juego desde entonces así como explicitar las formas de comprender el experimento en el quehacer científico que se derivan de ellas y hacer un consolidado de las mismas.

En el último siglo es posible destacar tres cambios de perspectiva en la filosofía de la ciencia (Quesada Blázquez, 2006). Se parte del enfoque tradicional del círculo de Viena que hacía de la ciencia un conjunto ordenado de enunciados de orden teórico y observacional, contrastados o falsados por el experimento. Con el trabajo de Kuhn sobre la actividad científica que introdujo para su análisis elementos como ciencia normal, revolución científica y paradigma se da el giro historicista y relativista a la forma de concebir la ciencia debido al reconocimiento del carácter histórico implicado en la dinámica del cambio científico así como del papel crucial que juega el contexto social, cultural y disciplinar en el que es producido y difundido el conocimiento científico. Aquí el experimento pierde su carácter de falsador entre teorías rivales, tal como lo proponía Popper y se convierte en un medio para concretar los planteamientos teóricos, reivindicándose de esta manera el carácter relativista de la ciencia.

Hacia la década de los 80 con los trabajos desarrollados en el marco de la nueva sociología del conocimiento científico, los elementos materiales de la ciencia como los experimentos, los instrumentos y todas las máquinas y utensilios usados en los laboratorios adquieren protagonismo y logran mostrar una imagen de la ciencia muy diferente. Un clásico de estas reconstrucciones experimentales es el *Leviathan and the Air Pump* de Shapin y Schaffer.⁴

A finales de los 80 se da paso a una perspectiva que adopta como centro de análisis al experimento; los estudios de

laboratorio de Knorr-Cetina (1981), de Latour (1992) y de Latour y Woolgar (1985), ilustran este énfasis. Dos cuestiones se examinan particularmente: la flexibilidad interpretativa de los experimentos y su replicabilidad.

Hacking (1983) fue uno de los primeros en reivindicar tanto la importancia de la intervención (experimentación) como de la representación (teorización) en los estudios de la ciencia. Según Hacking, hay una historia de la experimentación que no está contada y que no tiene que ver con la historia de la teoría. A través de estudios de casos de la física, biología, química, etc. y desde diferentes perspectivas H.M. Collins, J.Z. Buchwald, M. Lynch, B. Latour, S. Woolgar, D. Gooding, K. Knorr-Cetina, J. I. Hacking, A. Pickering, entre otros, escriben la historia de la experimentación e instrumentación.

A principios de los 90, se desplaza el interés directamente a las prácticas científicas como elementos propios de la ciencia. También, en este aspecto, Hacking fue uno de los precursores. El nuevo interés o nuevo giro en los estudios de la ciencia es denominado por algunos autores (Echeverría, Martínez, Quesada Blázquez), “giro praxiológico”. Galison⁵ y Pickering han contribuido especialmente a éste. El nuevo enfoque va más allá de la experimentación. Así para Galison, *la cultura de la física como cualquier otra área científica estaría compuesta por diferentes subculturas, que exhibirían autonomía e independencia pero que establecerían interconexiones entre ellas. Básicamente, distingue la subcultura de los teóricos, la subcultura de los experimentalistas, y la subcultura de los instrumentalistas*, aunque declara que puede haber multitud de ellas. Las subculturas manifiestan modos de trabajar diversos, diferentes formas de demostración, distintos compromisos ontológicos; tienen también sus propias revistas, conferencias, y formas de validación, cooperación e intercambio de los colegas

dentro de la disciplina. Pero la ciencia se desarrolla a través de la interconexión que se produce entre las diferentes subculturas. Galison postuló el concepto de la *trading-zone*: lugar, tanto simbólico como espacial, donde se produce el intercambio y la colaboración entre las distintas formas de proceder de las subculturas. Al igual que Galison, Pickering parece implicar en sus trabajos una noción más amplia de ciencia (Quesada Blázquez, 2006). Ya en *The Mangle of Practice* (1995), hace del análisis de la práctica científica su objeto de estudio; trata, como Galison, de resolver problemas clásicos de los anteriores estudios de ciencia. Principalmente, su teoría se basa en lo que él llama *the mangle of practice*, que describe como una dialéctica de resistencia y adaptación (*acomodación*). Considera que en la ciencia son actores tanto los seres humanos como el mundo material y social; no obstante, la intencionalidad sigue perteneciendo al mundo humano, sin embargo, esta salvedad no impide la relación entre los materiales y los humanos en la dinámica de la práctica. En concreto, el autor argumenta la existencia de paralelismos entre la agencia humana y material y un entrelazamiento constitutivo de ellas, así como la emergencia temporal en la práctica. Otra de las características fundamentales de la propuesta de Pickering es el énfasis en el carácter performativo de su análisis de la práctica científica. El análisis recae sobre capacidades, prácticas, realizaciones, poderes, etc., que, por supuesto, se dan en el curso del tiempo; es decir, sobre la interconexión entre agentes humanos y materiales y sus realizaciones en el tiempo (Quesada Blázquez, 2006).

En este enfoque praxiológico encontramos otras posturas, la empírica y formal, donde la práctica científica es vista como un sistema de acciones en el que se distinguen diversos tipos de actividades (de educación, de investigación, de aplicación y de evaluación), cursos de acción, se-

cuencias de acciones, y acciones (Quesada Blázquez, 2006).

En síntesis, la profundización en esta nueva dirección de la filosofía conlleva a abordar cuestiones: teóricas, experimentales, instrumentales, de agencia, de procesamiento y publicidad, sobre nociones o valores, contextuales, de gestión de la ciencia, de participación pública. Cuestiones todas que estarían implicadas en la complejidad de la práctica científica y que si bien se pueden diferenciar entre sí están íntimamente ligadas. Entonces, así como hay una nueva mirada de la ciencia, de la misma manera se ha abierto una nueva imagen de la experimentación y su relación con la actividad teórica en la dinámica científica.

Ahora bien, como dijimos al iniciar este artículo, a pesar de las diferencias entre los procesos cognitivos involucrados en la actividad científica como tal y aquellos relativos a la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, la manera como es comprendida la actividad experimental en la dinámica científica define en gran medida el papel que se le puede asignar a las prácticas experimentales en los procesos cognitivos desplegados en el aula. Entonces es conveniente preguntarse: qué análisis sobre la actividad experimental nos puede aportar elementos para la enseñanza de las ciencias, o más específicamente, qué aspectos de la actividad experimental pueden resultar pertinentes para este propósito.

El experimento y la medición

La medición es el aspecto más destacado cuando se trata de caracterizar la actividad experimental particularmente en la física, identificándose la *medición* con la *acción o proceso* por el cual se asignan números a atributos de entidades del mundo físico mediante la aplicación de un instrumento adecuado para medir la propiedad en cuestión del cuerpo o sistema

considerado⁶. Sin embargo, asumir la medición como una práctica compleja que involucra, entre otras cosas, no sólo preparar aquello que es objeto de medición sino también la forma de medirlo y los dispositivos con los que se hace esta operación, puede significar un cambio sustantivo en la forma de entenderla, además de transformar este proceso en un interesante objeto de estudio en el momento de analizar las prácticas experimentales.

Como bien lo plantea De Andrade Martins (2005), usualmente los aparatos de medición, mediante los cuales se realizan estos procesos de asignación numérica y de vínculo entre los planteamientos teóricos y los efectos sensibles, son asumidos como cajas negras que producen lecturas cuando son aplicados a sistemas físicos. Tal comprensión de los dispositivos de medición hace que carezcan de sentido preguntas como las siguientes: ¿está funcionando el instrumento de medición adecuadamente? ¿está midiendo lo que debe medir? Puesto que si una magnitud física está definida por su método de medición, - cuando se la considera definida operacionalmente- es imposible saber si está bien medida o no y por ende criticarlo o mejorarlo. Esta forma de asumir la medición - señalan Romero y Rodríguez (2006)- ocasiona en el ámbito pedagógico graves inconvenientes que impiden una adecuada comprensión del proceso de organización de la experiencia sensible y de la construcción conceptual, característica de la actividad científica. Se asume una clara separación entre la teoría y el experimento, al considerar que ésta se reduce al cotejo de los resultados obtenidos y los esperados vía el análisis estadístico y la teoría de errores. No es de extrañar, entonces, que desde esta perspectiva el complejo problema de la medición se convierta únicamente en un asunto de la precisión de los instrumentos, de las técnicas de medición y del procesamiento de datos.

¿Hasta qué punto los instrumentos de medida son externos e independientes de las mismas organizaciones conceptuales?

Los instrumentos de medición -llama la atención De Andrade Martins- no son dispositivos ciegos, ni es necesario tener una fe ciega en ellos, es posible analizarlos y probarlos. Hermann von Helmholtz (1887), primero, y Norman Campbell (1920), después, sentaron las bases de una primera teoría general de la medición que plantea las condiciones que se deben imponer a los procesos de medida para que sus resultados sean consistentes con algunas propiedades básicas de las magnitudes físicas. Para Helmholtz los atributos de objetos, que permiten la distinción de mayor, igual o menor al ser comparados con otros similares se denominan *magnitudes*. Dos aspectos relativos a las magnitudes físicas considera importante abordar este pensador: el primero es relativo al significado de la igualdad o desigualdad aplicada a los atributos de los objetos o *criterio de comparación*; es decir, se refiere a las condiciones que se cumplen para afirmar que un atributo particular de un cuerpo es igual, menor o mayor que el de otro. El segundo, que denominaremos *criterio de aditividad*, se refiere al carácter que debe tener la combinación física de dos objetos para que podamos considerar los atributos comparables de ésta como unidos aditivamente y en esta medida podamos considerar a estos atributos como magnitudes que se pueden designar por números. Es precisamente la verificación de estos dos criterios lo que permite afirmar que medir es comparar una propiedad de un objeto con la propiedad de la misma clase de otro objeto asumida como patrón, que da como resultado un número. Campbell introdujo la denominación *medida fundamental* para caracterizar los procedimientos que estaban basados en la igualdad y la adición y abrió las puertas a la consideración de medidas no aditivas como la temperatura y la densidad, al caso de la densidad lo de-

nominó magnitud derivada (De Andrade Martins, 2005).

La determinación de las condiciones implicadas en estos criterios y por ende su aplicación cuando se está constituyendo tanto la propiedad como su método de medición está lejos de ser trivial. Ello se puede evidenciar aún con aquellas propiedades de los cuerpos que nos son muy familiares, como su tamaño o extensión o su peso; se requiere para ello tener una comprensión de la propiedad en cuestión y una organización de sus efectos. En un caso sencillo como puede ser la medición de una longitud, se asume que el instrumento de medición es una regla o un metro, pero no se hace la discusión de los elementos teóricos que están relacionados con el uso de la regla: de hecho al utilizar la regla se tiene como base toda una experiencia sobre los cuerpos rígidos según la cual no alteran su forma al ser trasladados o rotados; estos aspectos y otros que hacen parte de la denominada geometría física dan sustento teórico a un instrumento al parecer tan simple como lo es la regla. La medición implica entonces avanzar paralelamente en la construcción de la propiedad así como en la conformación de la fenomenología a la que se encuentra articulada. Para ilustrar aún más este punto miremos ahora someramente el caso del peso.

Posiblemente cuando se dice que “*dos cuerpos tienen el mismo peso si al colocarlos en los extremos de una balanza de brazos iguales, el sistema queda en equilibrio*” (*criterio de comparación*), o “*que el cuerpo conformado por N cuerpos del mismo peso tiene un peso igual a N veces el peso de uno de estos cuerpos cuando son colocados en el mismo lado de la balanza y a la misma distancia del punto de apoyo*” (*criterio de aditividad*), estas afirmaciones resulten bastante obvias; pero sin duda dejan de serlo cuando nuestro punto de partida en torno al peso es la dificultad que experimentamos para evitar la caída de un cuerpo. Cuando considera-

mos que son precisamente los efectos del peso -propensión a caer y resistencia a ser elevado-, que nos permite pensar en éste, primero como propiedad y luego como fuerza, nos vemos abocados a una problemática compleja e interesante.

En este contexto de significación, para saber y prever cuando dos cuerpos tienen pesos iguales o no, es preciso diferenciar entre el peso y la acción que éste ejerce y encontrar su relación; porque se requiere tener en cuenta que en cada dirección un mismo cuerpo debido a su peso puede ejercer un efecto diferente, igualmente se necesita considerar que cuerpos colgados en una balanza en puntos a distancias diferentes del punto de apoyo de la balanza ejercen por su peso acciones diferentes; aspectos que Arquímedes, Stevin y Galileo primero y Newton después trabajaron y organizaron dando lugar a los conceptos de centro de gravedad, torque, fuerza, momento de una fuerza y fuerza de gravedad, con los cuales se describe la fenomenología articulada al peso (Ayala et al., 2001 y 2003). Para dimensionar aún más la problemática involucrada y las exigencias que se derivan en la aplicación de los dos criterios mencionados, es conveniente recordar que para Galileo el peso no era en sí mismo una propiedad aditiva: consideraba que el peso de un cuerpo en caída libre era igual al de sus partes; tal concepción explica por qué para él los cuerpos en el vacío tienen el mismo movimiento de caída. Sólo cuando el movimiento libre de caída es obstaculizado se podría hablar de aditividad del peso.

Se puede decir entonces que las magnitudes y las formas de medida no son externas al fenómeno, sino que más bien son producto de la comprensión de amplios campos fenoménicos, de modo que "*una red teórica transforma un conjunto de alambres, resortes y tornillos en un instrumento de medida convirtiendo marcas y coincidencias en números con una significación, la de las relaciones entre ciertas*

magnitudes; siendo un instrumento de medida la concreción de la teoría en que se basa" (Malagón, 2002).

Tres formas diferentes, pero relacionadas entre sí, se pueden distinguir en el proceso de constitución de una medida: la clasificación, la ordenación de cualidades por grado de mayor a menor y la forma cuantitativa referente a las diferencias de grado de cierta magnitud. Por ejemplo, en el laboratorio los materiales se pueden clasificar por su dureza y ordenarlos por su grado de dureza, dando lugar a la escala de dureza de Mohr, donde el criterio de ordenación de esta escala consiste en que el cuerpo más duro raya al más blando; es claro que aunque no es una escala numérica sí provee una ordenación.

Otro ejemplo muy ilustrativo es la clasificación que se puede hacer de sólidos y líquidos a partir de la flotación de los cuerpos en diferentes medios donde se pueden establecer dos comportamientos: "flotar" o "hundirse". Una vez que son clasificados de esta manera, es posible establecer una ordenación de grado, teniendo en cuenta que los cuerpos que flotan no lo hacen de la misma manera, que unos flotan más y otros menos. De la organización de la flotación se podría definir una magnitud que permite avanzar en la comprensión teórica del fenómeno de la flotación, la densidad, y construir un aparato para medirla, pudiéndose así llegar a asignar un número y definir una magnitud que hable de ese problema.

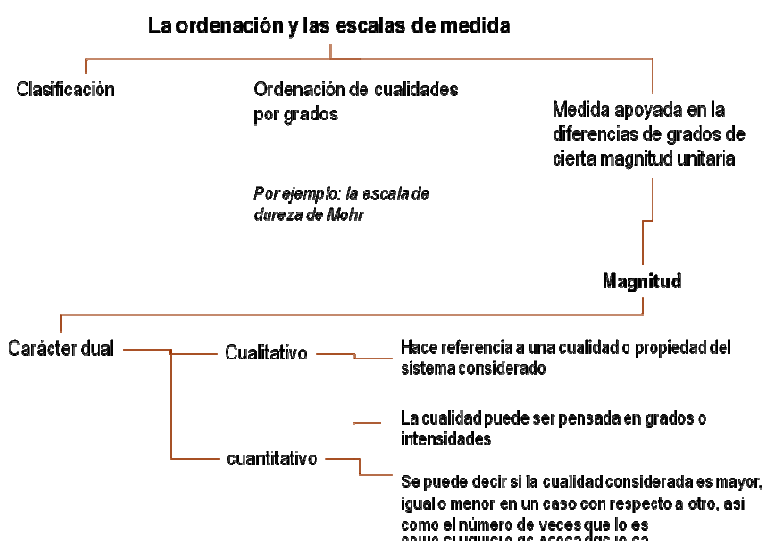
Campbell distinguió, como señalamos anteriormente, dos tipos de magnitudes: "*magnitudes fundamentales*" y "*magnitudes derivadas*" teniendo en cuenta que los criterios de igualdad y aditividad eran aplicables directamente a las magnitudes del primer tipo, más no a las del segundo, como ocurre con la densidad, la velocidad y la temperatura entre otras. En el caso de la temperatura no es posible comparar directamente la temperatura de dos cuer-

pos, la única forma de tratar de asignar una magnitud a esa cualidad de estar caliente o frío, o más caliente o más frío, es asociando a esa cualidad otra que está asociada con ella, i.e. la dilatación de la columna de mercurio o la resistencia eléctrica. En estos casos el criterio de comparación no es directo, lo que se puede hacer es comparar un fenómeno, con otros tipos de fenómenos que ya están organizados, como sería el de la dilatación. La velocidad instantánea, por su parte, es un caso análogo al de la temperatura; es una magnitud definida como el diferencial de la posición con respecto al tiempo; como no se puede asumir como el cociente de dos cantidades finitas (en cuyo caso se determinaría una velocidad promedio más no la instantánea), para medirla Galileo hizo una estructuración del movimiento de un proyectil, relacionando el fenómeno de caída y el movimiento horizontal; logra así definir la forma de medir la velocidad instantánea en términos del alcance horizontal de un cuerpo cuando es lanzado horizontalmente con esta velocidad. En este sentido, al igual que la temperatura su medición exige ponerla en relación con un fenómeno ya establecido, en este caso el movimiento parabólico.

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

Reflexiones generales sobre el concepto de magnitud

La reflexión sobre el concepto de magnitud conduce a abordar problemáticas claves para la caracterización de las disciplinas científicas y la elaboración de criterios que orienten tanto las prácticas pedagógicas de los maestros vinculados a la enseñanza de las ciencias como la reflexión sobre las mismas. El análisis de estas problemáticas puede aportar, en particular, elementos importantes para generar condiciones que posibiliten enriquecer el conocimiento de los estudiantes estableciendo y consolidando nexos entre dicho conocimiento y el científico en los procesos de recontextualización de saberes cien-



tíficos realizados en el aula. Estas problemáticas hacen referencia especialmente a la relación matemáticas-conocimiento científico⁷, cuyo análisis implica a su vez dirimir la dicotomía cualitativo-cuantitativo, mundo de ideas-mundo sensible.

Usualmente se considera que un conocimiento disciplinar determinado tiene relación con las matemáticas porque las propiedades consideradas del sistema u objeto estudiado son cuantificables y/o susceptibles de ser medidas. Estas magnitudes son los términos a partir de los cuales son enunciadas las diversas proposiciones teóricas con las que se describe el comportamiento del objeto en cuestión o se caracteriza el fenómeno estudiado. Refiriéndose a la física, Paty (1999) plantea:

“La especificidad de la física radica en la fuerte relación que tiene con las matemáticas o matematización o con la observación cuantitativa y con el experimento, cosa que le aseguró su liderazgo entre las ciencias, en cuanto fue adoptada como modelo de racionalidad. En la física los fenómenos se representan a través de conceptos que son expresados en la forma de magnitudes o cantidades, dotadas con una definición exacta de una manera matemática. Las relaciones entre los conceptos físicos son relaciones entre estas magnitudes que toman generalmente la forma de ecuaciones o de proposiciones cuantitativas tales como principios, -de inercia, de relatividad, de conservación, etc.-“ (Paty, 1999).

Entonces como fundamento de las magnitudes tenemos a las propiedades detectables en los sistemas físicos. Ahora bien, a los cuerpos, fenómenos o procesos se les suele asignar características, propiedades o cualidades, que se consideran están contenidas en ellos y son base de su identificación, las cuales se suponen son susceptibles de ser determinadas a través de la observación.⁸ Contrario a esta apreciación

queremos hacer notar que una cualidad al igual que cualquier atributo que prediquemos de un cuerpo, sistema o fenómeno es un constructo conceptual y que como tal es una forma de mirar el mundo que, al ser organizadora de la experiencia sensorial, determina aspectos del mundo que son mirados.

En este orden de ideas, como se pone de manifiesto en otros artículos, las cualidades o propiedades no están dadas sino que son producto de un proceso de organización de la experiencia sensible y en ese sentido son formas dinámicas que en el proceso de su constitución dan origen, a través de procesos de diferenciación, a toda una serie de magnitudes con las que se describe el campo fenoménico que las articula. Así por ejemplo, la conformación del campo fenoménico de lo eléctrico da lugar a una trama de magnitudes: cantidad de electricidad o carga, potencial eléctrico, capacidad eléctrica y conductividad eléctrica, entre otros, al igual que la especificación de una serie de facetas del fenómeno. Análogamente, la conformación del campo fenoménico de lo térmico da lugar, en una primera fase, a las magnitudes calor, temperatura, capacidad calorífica, conductividad. Los dos aspectos que acabamos de mencionar: el carácter conceptual y dinámico, son cruciales en la caracterización de qué entendemos por cualidad y por magnitud.

Por otra parte, es importante enfatizar que la idea de magnitud tiene un doble carácter. Por un lado tiene un carácter cualitativo, en cuanto hace referencia a una cualidad del sistema considerado. Y, por otro, tiene un carácter cuantitativo puesto que la cualidad considerada es susceptible de ser pensada y detectada en grados o intensidades a la luz de un cierto procedimiento. Como lo hemos hecho notar anteriormente, 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 consideración 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.

En este orden de ideas es claro que la cuantificación de una propiedad o atributo, o la matematización de un fenómeno no se reduce en ningún momento a la simple asignación de números. Va más allá de ello. Como bien lo hace notar Paty (1999), las cualidades medioevales se pueden ordenar e incluso se les puede asignar un número, pero no por ello son magnitudes o cantidades. No obstante se pueda afirmar en cierto contexto que una cosa es 3 veces más roja que otra, el color es una cualidad y no una cantidad puesto que no es posible su medición, no existe un procedimiento para establecer las veces que el color de una cosa es mayor al de otra. Por el contrario, a pesar de que la velocidad pueda ser pensada como una intensidad de una cualidad, la intensidad del movimiento, la velocidad es una magnitud. Se requiere para ello disponer de una forma de medirla, configurar la acción práctica de medirla. Galileo estableció la manera de hacerlo al dilucidar el movimiento de proyectiles. Pero ello también requirió de Galileo un cambio radical en la concepción de movimiento. Fue necesario que superara la habitualmente reconocida oposición movimiento-reposo: se hizo necesario pensar que un cuerpo en movimiento y un cuerpo en reposo no diferían cualitativamente, sino que entre ellos sólo había diferencias de grado. También podemos afirmar que la posibilidad de pensar la temperatura como magnitud exige eliminar la oposición calor-frío y con ello dejar de pensar calor y frío como cualidades. Igualmente, la configuración del pH como magnitud exige superar la oposición acidez-basicidad.

A modo de conclusión

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

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

En este orden de ideas, examinar el proceso de construcción y reconstrucción de una magnitud, así como de sus formas de medida, permitirá simultáneamente examinar diversas rutas de constitución y ampliación de la base fenomenológica a la cual 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 en su base.

Una indagación tal permite allegar elementos importantes para el planteamiento, dinamización y enriquecimiento de la actividad experimental en el aula de clase. La

reflexión sobre el papel que juega la actividad experimental en la ciencia y en la enseñanza de las ciencias nos permite afirmar que ésta debe ser considerada como un proceso intencional imposible de desligar de una educación en ciencias en la que se privilegie la construcción de explicaciones y comprensiones acerca de los fenómenos abordados. Igualmente nos permite plantear tres ejes íntimamente

relacionados para la estructuración y análisis de la actividad experimental en el aula. En primer lugar, la organización de las cualidades, la construcción de magnitudes y la elaboración de formas de medida⁹; segundo, la ampliación de la base fenomenológica; y tercero, el planteamiento de problemas conceptuales.

Notas

- ¹ El trabajo en torno a los fenómenos electromagnéticos, desarrollado en este período, ilustra esta perspectiva.
- ² Véase al respecto el instrumental desarrollado por Faraday.
- ³ El trabajo experimental de Hertz sobre las ondas electromagnéticas mediante el cual concreta la concepción de campos de Maxwell y Faraday, así como el realizado por Coulomb para evidenciar que la fuerza podía constituirse en una categoría para dar cuenta de los fenómenos eléctricos y magnéticos, ejemplifican esta orientación de la actividad experimental.
- ⁴ La complejidad de la actividad experimental se hace aún más evidente cuando se tienen en cuenta perspectivas culturales como lo manifiesta el planteamiento de Stephen Shapin, que tiene un gran valor pedagógico al destacar que la relación teoría-experimento requiere ser construida socialmente. Shapin nos hace tener en cuenta que los hechos científicos, base de aquello que llamamos “realidad”, tienen una historia de constitución: en algún momento fueron sólo enunciados, la mayoría de las veces polémicos, pues no existía un consenso de que describieran el comportamiento de algunas facetas del mundo externo. Los hechos científicos son considerados, por este autor, ante todo como *hechos sociales* y por tanto su establecimiento no es espontáneo sino que se requiere para ello desplegar toda una *tecnología de socialización* que involucra tres aspectos estrechamente relacionados. Una *tecnología material*, vinculada al diseño y montaje experimental, cuyo objetivo es la producción de los hechos. Una *tecnología literaria*, vinculada a la perspectiva conceptual que orienta el experimento cuyo objetivo es favorecer la reproducción de los hechos producidos así como facilitar la creación de una comunidad de *testigos virtuales* que certifiquen y validen las experiencias realizadas, a pesar de no estar directamente presentes en su producción; o en otras palabras, una tecnología tendiente a enseñar a organizar los datos sensibles para ver lo que se debe ver. Por último, una *tecnología social* vinculada a los criterios de validez de la actividad cognitiva para hacer del modo particular de experimentación una forma aceptada de validar el conocimiento vinculado a ésta, dotándolo de esta manera de objetividad.
- ⁵ El giro hacia la experimentación es clave en su libro *How experiments end* (1987), en el que el foco se sitúa en la práctica de laboratorio. El objetivo principal del libro es mostrar cómo se cierra un experimento, atender a los argumentos, las evidencias, las destrezas y las herramientas desplegadas en el laboratorio que concluyen el resultado de un experimento (Quesada Blázquez, 2006).
- ⁶ Es importante notar aquí que la estrecha relación medición-matematización, así como conceptualización-matemáticas que se reconoce en la física, no se da de la misma forma en otras disciplinas como la química o la biología. No obstante este reconocimiento, al pasar al ámbito de la enseñanza de las ciencias, se suele insistir en una relación directa entre la medición y la asignación de cantidades. Por ello el análisis de los procesos de constitución de las diversas magnitudes trabajadas en las

ciencias y sus formas de medida puede aportar elementos muy importantes para la actividad pedagógica en torno a las ciencias.

⁷ Respecto a la relación entre la física y las matemáticas Levy Leblond señala que es importante que *la distinción entre un concepto físico y su matematización no se conciba como una simple diferenciación estática: un concepto matemático más otra cosa. El concepto matemático no es ni un esqueleto al que la física le presta la carne, ni una forma abstracta, que la física se encarga de llenar de contenido concreto. Es esencial que las relaciones de las matemáticas y la física se expresen en términos dinámicos*". Este comentario que hace Leblond –afirman Ayala y colaboradores (2007)– resume la manera como se suele comprender la relación entre la física y las matemáticas. *Se considera que la expresión matemática por medio de la cual se expresa una proposición sobre el mundo físico carece inicialmente de sentido físico, y que ésta lo adquiere cuando se le asigna algún significado a los diferentes términos que aparecen en cada expresión.* Se suele considerar a su vez que dar un significado físico es poner de relieve las manifestaciones del fenómeno que pueden ser captadas por los sentidos. Esta manera de concebir dicha relación –prosiguen estos autores– *lleva a pensar en dos problemas o en dos momentos, uno cuando la expresión es un ente puramente matemático, vacío de contenido, y otro cuando se le ha dotado de significado físico y ésta se convierte en un enunciado sobre el fenómeno físico analizado.* Esta separación entre lo conceptual y lo cuantitativo es planteado también en el ámbito de aprendizaje y de formación de conceptos (véase por ejemplo Koponen y Mantyla, 2006): la formación de conceptos comienza en el nivel de la información cualitativa, vía la percepción, en el que se construyen los esquemas de significado para el reconocimiento y clasificación no sólo de objetos sino también de fenómenos y sus propiedades. En un segundo nivel se encuentra la cuantificación y por último la 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, Leblond dice que *es necesario y es posible pensar la matematización de los fenómenos físicos de una manera diferente, conceptualización que puede ser alcanzada cuando se supera el punto de vista estático –que conduce a quienes lo adoptan a establecer una diferenciación de base entre forma y contenido– y se adopta en cambio un punto de vista dinámico, es decir, cuando el análisis ya no se restringe a los resultados o productos de la actividad cognitiva y se lo ubica en el ámbito de la actividad misma de construcción del conocimiento.* (Tomado de Ayala et al, 2008).

⁸ Según Guidoni, *en lo que respecta al conocimiento de la Física, hay dos estrategias cognoscitivas - dos modos de mirar y de formalizar- particularmente importantes: un modo de ver por espacios abstractos de sistemas y un modo de ver por espacios abstractos de variables. Son dos modos estrechamente correlacionados; no se alcanza a ver por sistemas sin ver también por variables y viceversa y es crucial aprender a distinguir su rol. Las variables son, de hecho, aquellas que describen los espacios abstractos en los cuales los sistemas internos pueden cambiar de configuración (por ejemplo, de forma). Los parámetros, que son a su vez variables continuas, tienen en cambio una semántica distinta (y tal vez son útilmente representados en un espacio abstracto separado) porque habitualmente caracterizan, con sus valores particulares, sistemas en el interior de una clase.* (Tomado de Guidoni y Arcá, *Seminario Didáctico de la Facultad de Ciencias*).

⁹ Como lo ha mostrado el grupo en otros escritos (Malagón et al., 2010), en el caso del pH los sujetos comúnmente suelen tener una experiencia con las sustancias que les permite distinguir grosso modo cualidades inicialmente opuestas como son la acidez y basicidad (indicadores cambian de coloración según se pongan en contacto con una sustancia acida o con una básica, en tanto la mayoría de los metales se descomponen por acción de los ácidos). A partir de esta experiencia primaria y su organización que permite hablar de grados de acidez y basicidad, al ampliar los efectos relacionados con dichas cualidades vinculándolas con otros efectos mediante el análisis del comportamiento eléctrico correspondiente de las sustancias (conductividad eléctrica de las mismas) es posible llegar a construir una magnitud como es el pH que exprese dichas cualidades. En esta ruta el experimento juega un papel muy importante para construir las relaciones, las escalas de ordenación, el diseño de ins-

trumentos. Se pueden igualmente relacionar nuevas experiencias con la inicial y avanzar en el proceso de transformación y reconstitución de la magnitud vinculada al nuevo campo fenoménico (o campo fenoménico extendido).

Referencias

- Ayala, M. M.; Castillo, J. C.; Malagón, F. y Garzón, I. (2001). El Equilibrio según Stevin: la acción como poder del peso. *Revista Colombiana de Física*, 33(2), pp. 491–495.
- Ayala, M. M.; Castillo, J. C.; Garzón, M.; Garzón, I. y Malagón, F. (2003). La estática y el concepto de momento de fuerza según Lagrange. *Memorias VIII Conferencia Iberoamericana sobre Educación en Física*. Cuba.
- Ayala, M. M.; Romero, Á. E.; Malagón, F.; Rodríguez, L. D.; Aguilar, Y. y Garzón, M. (2008). *Los procesos de formalización y la organización de los fenómenos físicos: el caso de los fenómenos mecánicos*. Universidad Pedagógica Nacional y Universidad de Antioquia.
- De Andrade Martins, R. (2005). Philosophy in the Physics Laboratory: Measurement Theory Versus Operationalism. Group of History and Theory of Science, State University of Campinas (Unicamp), SP, Brazil. *Comunicação – International History, Philosophy, Sociology and Science Teaching Conference (IHPST)*. University of Leeds, Inglaterra.
- Ferreiros, J. y Ordoñez, J. (2002). Hacia una filosofía de la experimentación. *Crítica, Revista Hispanoamericana de Filosofía*, 34(102), pp. 47-86.
- Hacking, I. (1983). *Representing and Intervening*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Knorr-Cetina, K. D. (1981). *The Manufacture of Knowledge: An Essay on the Constructivist and Contextual Nature of Science*. Oxford: Pergamon.
- Koponen, I. and Mantyla, T. (2006). A Generative Role of Experiments in Physics and in Teaching Physics: A Suggestion for Epistemological Reconstruction and Education. *Science and Education*, 15(1), pp. 31-54.
- Latour, B. (1992). *Ciencia en acción. Como seguir a los científicos e ingenieros a través de la sociedad*. Barcelona: Labor.
- Latour, B. y Woolgar, S. (1985). *La vida en el laboratorio: la construcción de los hechos científicos*. Madrid: Alianza.
- Malagón, J. F. (2002). *Teoría y experimento, una relación dinámica: Implicaciones en la enseñanza de la física*. Departamento de Física, UPN. Colombia. (Documento Inédito).
- Malagón, J.F. et al., (2010). *El experimento en el aula. Comprensión de fenomenologías y construcción de magnitudes*. Publicación en imprenta. Fondo Editorial Universidad Pedagógica Nacional, Colombia.
- Mantyla, T. and Koponen, I. (2007). Understanding the Role of Measurements in Creating Physical Quantities: A Case Study of Learning to Quantify Temperature in Physics Teacher Education. *Science and Education*, 16(3-5), pp. 291-311.
- Paty, M. (1999). *The idea of quantity at the origin of the legitimacy of mathematization in physics*. Conference on the Philosophy of Marx Wartofsky, New York, New School University.
- Quesada Blázquez, M. Á. (2006). Es el momento de dar otro paso: De una filosofía del experimento hacia una filosofía de las prácticas científicas. *Ponencia presentada en el I Congreso Iberoamericano de la Ciencia Tecnología Sociedad e Innovación CTS+I*.
- Romero, A. y Rodríguez, L. D. (2005). El concepto magnitud como fundamento del proceso de medición. La cuantificación de los Estados de movimiento y sus cambios. *Revista Educación y Pedagogía*, 17(43), pp. 127-140.