

# La historia de la ciencia, en la búsqueda de un interlocutor: el caso de la densidad de los cuerpos<sup>1</sup>

## The history of science, in the search of an interlocutor: the case of the density of the bodies

## A história da ciência, na busca de um interlocutor: o caso da densidade dos corpos

J. A. Quinto, A. E. Romero

Recibido: octubre 29 de 2015 - Aceptado: enero 13 de 2017

**Resumen**— Se presentan algunos fundamentos metodológicos y teóricos surgidos en un trabajo de investigación, cuyo propósito fue establecer y explicitar las posibles relaciones entre la implementación de actividades experimentales en la clase de Ciencias y la construcción social de conocimiento científico, a través de reflexiones sobre el proceso de medición en torno al fenómeno de la flotación de los cuerpos y su relación con el concepto de densidad. Para alcanzar el propósito planteado, se organiza el fenómeno de la flotabilidad de los cuerpos en relación con los conceptos de peso específico y densidad, y se construye la interlocución, a través de un análisis histórico-crítico y epistemológico, donde se privilegian autores como Arquímedes y Galileo. Lo anterior, se constituye en una alternativa a la manera tradicional de asumir las magnitudes y los procesos de medida como externos a los fenómenos y desprovistos de cualquier experiencia sensible por parte del sujeto que experimenta.

**Palabras clave**—concepto de densidad; epistemología de las ciencias; historia de las ciencias; flotación de los cuerpos; peso específico; interlocución; construcción social del conocimiento.

**Abstract**—Methodological and theoretical foundations obtained from an investigative work are presented, whose purpose was to establish and explain the possible relationships

<sup>1</sup>Producto derivado del Proyecto de Investigación “La experimentación en la clase de ciencias y la construcción social de conocimiento científico. Reflexiones sobre el proceso de medición en torno al fenómeno de flotación de los cuerpos”, presentado dentro de las perspectivas de investigación del grupo ECCE, de la Universidad de Antioquia.

J.A. Quinto Moya. Magister en Educación en Ciencias Naturales, de la Universidad de Antioquia, Medellín (Colombia); email: [jaqm1977@yahoo.es](mailto:jaqm1977@yahoo.es).

A.E. Romero Chacón. Profesor Investigador, Facultad de Educación, Universidad de Antioquia (Medellín, Colombia); email: [angel.romero@udea.edu.co](mailto:angel.romero@udea.edu.co).

between the implementation of experimental activities in the Science class and the social construction of scientific knowledge, through reflections about the measurement process around the phenomenon flotation within the bodies and its relation with the concept of density. To reach the stated purpose, the flotation phenomenon of the bodies is organized in relation to the concepts of specific weight and density, and the interlocution is formed, through a historical and critical analysis using authors like Galileo and Archimedes. The previous information constitutes an alternative to the traditional way of assuming the magnitude and measurement processes as external to the phenomenon and separate any sensible experience from the subject conducting the experiment.

**Key words**—concept of density; epistemology of science; history of science; flotation of bodies; Specific weight; interlocution; social construction of knowledge.

**Resumo**— Se apresentam alguns fundamentos metodológicos e teóricos surgidos num trabalho de pesquisa, cujo propósito foi estabelecer e demonstrar as possíveis relações entre a implementação de atividades experimentais na aula de Ciências e a construção social do conhecimento científico, através de reflexões sobre o processo de medição em torno dos fenômenos de flutuação dos corpos e sua relação como o conceito de Densidade. Para alcançar o propósito estabelecido, se organiza o fenômeno da flutuação dos corpos em relação ao conceito de peso específico e densidade e se constrói a interlocução, através de uma análise histórica-crítica e epistemológica, onde se privilegiam autores como Arquímedes e Galileu. O anterior, se constitui em uma alternativa à forma tradicional de assumir as magnitudes e os processos de medida como externos aos fenômenos e desprovidos de qualquer experiência sensível por parte do sujeito que experimenta.

**Palavras chave**—conceito de densidade; epistemologia

**das ciências; história das ciências; flutuação dos corpos; peso específico; interlocução; construção social do conhecimento.**

## I. INTRODUCCIÓN

USUALMENTE en la enseñanza de las ciencias los procesos de identificación y medición de magnitudes físicas son abordados como actividades independientes tanto de los sujetos que experimentan como de la organización de los fenómenos a los cuales se refieren[1]. Esto ha conducido a que el complejo problema de la medición sea considerado, casi de manera exclusiva, ligado a la utilización de aparatos y técnicas de medición, y al procesamiento de los datos obtenidos[2],[3]. Esta situación (problemática) se ha reforzado por el hecho que la ciencia que se enseña está comúnmente desprovista de reflexiones epistemológicas e históricas, en la medida en que sus contenidos se asumen como verdades absolutas e incuestionables, desvinculados de cualquier proceso de construcción social[4], [5]. Adicionalmente, la fuerte influencia de la perspectiva clásica o heredada de la filosofía de la ciencia en los procesos pedagógicos, con su característica separación entre teoría y experimento y la correlativa sobrevaloración de la dimensión teórica sobre la experimental, ha reducido la experimentación en la clase de ciencias, a la reproducción de “recetas”, posicionando al denominado “método científico” como único medio para la generación y validación del conocimiento [1], [6].

En este orden de consideraciones, surgen algunos cuestionamientos: ¿Cómo orientar las actividades experimentales de aula para resaltar el carácter discursivo y social de la producción de conocimiento científico? ¿Cómo incorporar reflexiones históricas y epistemológicas en el diseño de actividades experimentales escolares?

Como una forma alternativa de abordar estas problemáticas, se discuten los fundamentos teóricos y metodológicos, así como las contribuciones pedagógicas, de una propuesta de enseñanza de la física surgida en el marco de un Trabajo de Investigación (Tesis) en el programa de Maestría en Educación en Ciencias Naturales, de la Universidad de Antioquia (Medellín, Colombia). Tomando como fundamento los aportes de los estudios histórico-críticos, el Trabajo de Investigación tuvo como objetivo establecer y explicitar las posibles relaciones entre la implementación de actividades experimentales en la clase de ciencias y la construcción social de conocimiento científico, a través de reflexiones sobre el proceso de medición en torno al fenómeno de la flotación de los cuerpos y su relación con el concepto de densidad.

A continuación, sección II, se presentan los aspectos metodológicos de la investigación (el enfoque, el paradigma y las fases). En la sección III, se describe el proceso de identificación de clases y la construcción de ordenaciones, y cómo éstas se constituyen en la base del proceso de medida de magnitudes físicas como la densidad y el peso específico. En la sección IV, se plantean aspectos relacionados con el uso y adecuación entre representaciones como: la organización de la experiencia sensible, la representación cartesiana y los procesos de matematización. En la sección V, se resalta el carácter discursivo y dialógico de la construcción social del

conocimiento científico, al igual que su naturaleza socio-histórica. En la sección VI, se presentan los propósitos y descripciones de las actividades pedagógicas diseñadas e implementadas en la investigación.

Es importante destacar que, en cada una de las secciones se presentan ejemplos que le posibilitan al lector replicar los casos propuestos en esta investigación.

## II. ASPECTOS METODOLÓGICOS

La investigación se desarrolló bajo el paradigma de investigación cualitativa, con un enfoque interpretativo. Este enfoque se considera adecuado al objetivo propuesto en la medida en que se constituye en un modo particularmente pertinente de acercarse a la “realidad” del contexto educativo del aula, con el propósito de interpretar y comprender los procesos de construcción de conocimiento que allí se dan [7]. [8]. Utilizando el estudio de caso como estrategia metodológica, se analizó el proceso de construcción social de conocimiento de un grupo de estudiantes, cuando son motivados a la realización de ciertas actividades experimentales. Es importante aclarar que con esta clase de análisis no se pretende establecer generalizaciones sobre el tema, sino realizar un estudio en profundidad [9] respecto a las posibles relaciones entre actividades experimentales propuestas y las prácticas discursivas desplegadas en el contexto escolar. Para ello, se realizó un análisis de los modos y condiciones en las que los estudiantes debaten, realizan explicaciones, amplían sus comprensiones disciplinares, identifican relaciones y hacen uso de diferentes representaciones, cuando abordan ciertas situaciones experimentales centradas en los procesos de medición asociados a la fenomenología de la flotación de los cuerpos.

En esta investigación se asume la flotación de los cuerpos, en un medio, como la relación entre la densidad del medio y la del cuerpo y las condiciones en las que se lleve a cabo la experiencia.

Se asumió como caso un grupo de 12 estudiantes de los grados octavo y noveno de la Institución Educativa Rural Piedras Blancas (Guarne, Antioquia), grupo conformado como resultado del Proyecto de Educación Ambiental y Ondas de Colciencias, propuesto en la institución con la intención de exhortar a los estudiantes al estudio de las ciencias naturales.

La investigación se adelantó en tres fases: i) Fundamentación teórica-discursiva, durante la cual se realizó un análisis documental—de corte histórico y epistemológico—sobre el proceso de medición implicado en las actividades experimentales escolares y su rol en la construcción social de conocimiento científico; este análisis documental posibilitó la construcción de una red de categorías por medio de la cual se organizaron e interpretaron los discursos de los estudiantes (Tabla I). ii) Caracterización de las formas de uso y criterios relacionados con la experimentación, donde se interpretaron las informaciones y producciones escritas y orales de los participantes, recolectadas por medio de ciertos instrumentos (guías experimentales) diseñados paralelamente. Para efectos de la interpretación, se diseñaron algunos indicios observables en las unidades de

registro seleccionadas, consideradas éstas como enunciados o secuencias de enunciados de los participantes [10] (véase Tabla I). iii) Sistematización de hallazgos y resultados, en la cual se realizó el análisis y sistematización de la información para la construcción del Informe Final o Tesis.

A continuación se desarrollan algunas de estas subcategorías a través del análisis histórico y epistemológico realizado.

### III. CLASIFICACIÓN Y ORDENACIÓN COMO BASE DEL PROCESO DE MEDIDA

Tomando como fundamento los análisis históricos y epistemológicos adelantados por N. Campbell [11] y P. Duhem [12], indagar si una propiedad (física) es susceptible de ser medida implica preguntarse por la estructura que se le puede asignar a esta propiedad. En particular estos autores consideran la clasificación y la ordenación como las estructuras base del proceso de medida de toda propiedad.

Se puede construir *clases* (de equivalencia) cuando es posible la identificación de ciertas características comunes en fenómenos u objetos. Una vez identificadas éstas características comunes, la variación de algunas de ellas dentro del grupo o clase, hace posible su *ordenación* según los resultados de una comparación de los valores

que toma respecto la propiedad elegida [1]. En este sentido, los conceptos de clase y orden dependen de la identificación y establecimiento de similitudes y diferencias –respectivamente– en objetos, procesos o fenómenos. Esta identificación permite evidenciar en la propiedad elegida posibles permanencias y cambios, lo cual conlleva a su vez a determinar, por comparación, dentro del proceso de medición lo que se denomina *variable* [11], [12], [13].

Tal como lo afirma [1], “al realizar una observación ya se está realizando una clasificación: lo que se seleccionan son rasgos o características que, según las circunstancias o las convenciones, reciben el nombre de propiedades, atributos o cualidades”. En este sentido, la base de todo proceso de medida se encuentra en la capacidad del sujeto para clasificar y ordenar.

No obstante, el proceso de medición de una propiedad física no implica exclusivamente el establecimiento de clases y la identificación de una estructura de orden; es también necesario que los posibles valores que toma esa propiedad puedan ser representados por medio de cifras, es decir ser cuantificados. Al respecto [11] considera que “las propiedades que pueden ser representadas por cifras, es decir susceptibles de ser medidas, son aquellas que cambian por la combinación de cuerpos semejantes”, e identifica tres reglas

TABLA I  
CATEGORÍAS, SUBCATEGORÍAS E INDICIOS

Categorías	Subcategorías	Indicios
Procesos de medición.	Clasificación y ordenación como base del proceso de medida.	Proponen pautas para identificar características y propiedades que les permitan construir clasificaciones y ordenaciones; realizan clasificaciones y ordenaciones; diferencian materiales atribuyendo características a los cuerpos
	Uso y adecuación de representaciones.	Realizan representaciones verbales y/o pictóricas para formalizar sus observaciones y conjeturas. Representan y analizan magnitudes en tablas y en el plano cartesiano. Analizan un plano cartesiano y extraen información para la identificación de regularidades acerca del fenómeno. Adecuan la explicación al fenómeno que se quiere organizar haciendo uso de varias representaciones.
	El instrumento como concreción de la organización del fenómeno.	Conciben el instrumento como una síntesis de la organización del fenómeno. Definen criterios para calibrar el instrumento de medida.
Construcción social del conocimiento.	El carácter dialógico de la construcción del conocimiento.	Enfatizan en buscar la manera de validar sus ideas. Buscan convencer a sus compañeros a través del diálogo y argumentos. Transforman las situaciones que eran polémicas en un principio en base experiencial para organizar nuevas situaciones respecto al fenómeno.
	Formalización del fenómeno de la flotación.	Evocan situaciones cotidianas para organizar el fenómeno. Explican el fenómeno de la flotación a través de la identificación de regularidades. Construyen y hacen uso de equivalentes para explicar la noción de peso específico. Construyen la noción de peso específico.

para que se dé esta posibilidad: a) Dos objetos que respecto de esa propiedad sean lo mismo que un tercer objeto, sean lo mismo el uno que el otro; b) Por la adición sucesiva de objetos podemos construir una serie normal, en la que un miembro de la cual sea lo mismo, respecto de la propiedad, que cualquier otro objeto que deseemos medir; y c) Iguales añadidos a iguales produzcan sumas iguales.

De acuerdo con lo anterior, las propiedades que –en una primera instancia– pueden ser medidas, son aquellas a las que se les puede atribuir una estructura aditiva, es decir las propiedades extensivas. Sin embargo, este no es el caso de muchas propiedades físicas tales como la densidad, caracterizadas por no variar su valor cuando cambian la extensión del cuerpo, es decir las denominadas magnitudes intensivas.

¿Cómo medir propiedades como la densidad? Una forma de hacerlo, fundamentada en la investigación e implementada en la propuesta pedagógica, es asociándola al fenómeno de flotabilidad de los cuerpos. Al arrojar, por ejemplo, en una determinada cantidad de agua un trozo de madera nazareno y posteriormente otro de guayacán guajiro, se constata en la experiencia que el primero flota y el segundo se hunde. Al realizar el mismo procedimiento pero cambiando el medio por alcohol, se encuentra que ambos trozos de madera se hunden. La organización de estas experiencias permite establecer un orden de “densidades” entre los cuatro tipos de cuerpos o sustancias: el más “denso” sería el guayacán guajiro, luego el agua, le sigue el nazareno y finalmente el alcohol. Complementariamente, al medir para cada sustancia mencionada su peso y volumen –ambos medibles por las reglas antes enunciadas– y al calcular el cociente de los pares de valores en cada sustancia, se encuentra que el orden de las cifras obtenidas para cada sustancia corresponde al orden de sus densidades determinadas por el fenómeno de flotabilidad. En la medida en que dicho orden coincide, se puede asumir que el cociente entre el peso y el volumen es una forma adecuada para *representarla* medida de la densidad de una sustancia. En términos de [11], “la densidad es medible porque existe una relación numérica fija, enunciada por una ‘ley numérica’, entre el peso de una sustancia y su volumen”.

Esta significación del concepto de densidad en términos de la noción *peso específico* (cociente entre el peso y volumen del cuerpo), obtenido por medio de la familiarización y organización de la fenomenología asociada a la flotación de los cuerpos, ha sido también la forma como en la historia de la física se ha llegado a formalizar este concepto. Galileo en una de sus famosas obras [14] expresó en boca de uno de sus personajes este procedimiento: “SAGREDO. Muchas veces me he empeñado, con toda mi paciencia, en reducir al mismo peso [específico] del agua una bola de cera, que de por sí sola no se va al fondo, añadiéndole granos de arena, hasta que se mantuviese en suspensión en medio de aquélla; pero nunca, por más solicitud que empleara, llegué a conseguirlo. Por ello yo no sé si podremos hallar otra substancia que, por naturaleza, sea en su gravedad [tendencia a caer] tan semejante al agua, que puesta en ésta pueda sostenerse a cualquier altura”.

Este fragmento del trabajo de Galileo puede, recontextualizado, llevarse a la clase de física para ser analizado: ¿Cómo construir un cuerpo que se mantenga suspendido en medio de determinada cantidad del agua? ¿En términos del valor del peso específico, qué significa que un cuerpo quede “suspendido” en una determinada cantidad de agua? Interrogantes como estos fueron propuestos a los estudiantes para su discusión y experimentación.

#### IV. USO Y ADECUACIÓN ENTRE REPRESENTACIONES

Según [13], “toda nuestra actividad cognoscitiva está basada sobre sistemas de representación de nosotros mismos, del mundo, de las relaciones recíprocas”. Una representación es un espacio abstracto que ayuda a comprender, analizar, explicar y hacer comunicable un fenómeno o situación objeto de estudio. Se interactúa con otros a través de representaciones –simbólicas, numéricas, verbales, geométricas–; estas representaciones no solo permiten organizar la experiencia sino también construir nuevas situaciones a través de la comprensión de la semántica propia de la representación. No obstante, es importante destacar que una única representación no basta para explicar un fenómeno o situación; para ello se requiere de la adecuación entre varias representaciones.

En este orden de consideraciones, en lo que respecta al proceso de organización de la experiencia sensible, pensar y actuar no son dos actividades aisladas. Para actuar se debe producir una adecuación entre la experiencia y el pensamiento [12], y para ello es necesario construir una base experiencial que permita establecer comparaciones y ordenaciones. En la misma perspectiva, [15] concibe la observación como la adecuación entre lo que se piensa (representaciones) y la situación fenoménica que se da (hechos).

Lo anterior se constituye en la base para la explicación de fenómenos o situaciones, puesto que cualquier explicación que se haga tiene que ser adecuada con la experiencia [15]. Continuando con el fenómeno de la flotación de los cuerpos, por ejemplo, en la experiencia se sabe que el aceite flota en agua y que el agua se hunde en aceite. Esta situación se puede explicar a través del uso de ciertas representaciones, que si bien inicialmente pueden ser pictóricas, verbales o escritas, la investigación trató de privilegiar la comprensión y uso de representaciones geométricas como la cartesiana.

La representación cartesiana para las variables y sus relaciones se ha constituido en paradigmática en la historia de la física, y se considera particularmente importante para desarrollar en los estudiantes los procesos de matematización de los fenómenos físicos. Como señalan [16], esta clase de representación: i) permite la diferenciación y visualización de las variables reconocidas en una interpretación física, por medio de su representación a través de líneas sobre un plano; ii) facilita la identificación de las relaciones de orden, características de las magnitudes físicas, por medio de la comparación entre los segmentos que representan los diversos valores que puede tomar una variable; iii) favorece el establecimiento de relaciones entre las diferentes variables representadas vía el análisis, a partir de la representación misma, de cómo cambia una variable respecto a otra, y iv)

posibilita la comprensión del fenómeno físico a través de su formalización.

Así, el uso de representaciones gráficas y su respectivo análisis no sólo contribuye a la comprensión del fenómeno en estudio, sino que es una forma de materialización de la estrecha relación existente entre la física y las matemáticas. El que una propiedad variable se represente adecuadamente con una recta, por ejemplo, es una forma de uso de las matemáticas para comprender el mundo físico, a la vez que una forma de organización del fenómeno físico, pues a través de la representación se le está asignando una estructura geométrica a la propiedad en consideración. En el caso del fenómeno de flotación de los cuerpos que nos ocupa, las relaciones entre el peso y el volumen de un cuerpo o sustancia se pueden representar geoméricamente por medio del uso del plano cartesiano bidimensional, donde cada uno de los ejes del plano representa una de las variables en consideración (peso o volumen). Una recta inclinada en tal espacio bidimensional representaría, a su vez, una clase de sustancia particular. Consecuentemente, la pendiente de inclinación de dicha recta (cociente entre valores del peso y el volumen) podría asumirse como una adecuada representación de la clase de sustancia en consideración, valor que usualmente se denomina peso específico del cuerpo (o densidad si en vez del peso se considera la masa del cuerpo).

No obstante, dado que los espacios de representación (segmentos geométricos en este caso) tienen significado sólo en correspondencia con las variables y relaciones que ellos representan, es importante percatarse que las principales dificultades al representar variables y relaciones entre ellas no son de tipo técnico-formal, sino ante todo semánticas [16]. En dicho espacio de representación cartesiano bidimensional de peso vs volumen, por ejemplo, es preciso percatarse que no tiene sentido hablar de una recta vertical o de una recta horizontal, precisamente porque en la experiencia no es posible encontrar que un cuerpo o sustancia varíe su volumen sin experimentar una variación de su peso, y viceversa.

A manera de ejemplo, algunas de las actividades propuestas a los estudiantes en la implementación pedagógica fueron:

i) Represente en un plano cartesiano el volumen respecto a la masa para varias cantidades de agua. Realice el mismo proceso para agua salada y para un cuerpo sólido. ¿Qué puede concluir acerca de las gráficas?

ii) Represente, en un mismo plano cartesiano, el volumen respecto al peso para diferentes medios: agua azucarada, agua salada y alcohol e intérprete la gráfica.

iii) Dadas cuatro representaciones –se sugiere que las tres primeras sean de la masa vs el volumen para el caso del agua, alcohol y aceite, y la cuarta gráfica que involucre las tres primeras–, analice cada una y establezca regularidades. Adicionalmente, para la cuarta gráfica: ¿Qué sucede con el volumen si de los tres materiales tomamos igual cantidad de masa? ¿Cuáles de estos materiales flotarán en agua y cuáles se hundirán?

## V. EL CARÁCTER DIALÓGICO DE LA CONSTRUCCIÓN DEL CONOCIMIENTO

Tomando como referente algunas consideraciones de la perspectiva sociológica del conocimiento científico, la investigación asume como fundamento que todos los procesos de producción y cambio de conocimiento –incluido el científico– son de carácter socio-histórico [5], [17]. Así, tanto la ciencia (en sus contenidos, metodologías, formas de comunicación, etc.) como lo que concebimos como conocimiento científico es dependiente de los cambios de los procesos sociales acaecidos a lo largo de la historia; se trata de actividades sociales por excelencia [18]. En estrecha relación a esta naturaleza socio-histórica del conocimiento científico, esta perspectiva promulga también su carácter discursivo y dialógico. Siguiendo a [5], el pensar y conocer no corresponden a un proceso individual sino a una actividad eminentemente social, siempre enmarcada en un *estilo de pensamiento* determinado, en un *colectivo de pensamiento* específico. En este sentido, “un colectivo de pensamiento existe, siempre que dos o más personas intercambien ideas” [5].

Un aspecto de este enfoque adquiere especial relevancia para esta investigación: no sólo la construcción de conocimiento tiene un carácter sociocultural; es igualmente tributario de este carácter lo que llamamos “realidad natural” o naturaleza [10], [19]. Así, tanto la construcción y divulgación del conocimiento científico, como sus contenidos y objetos de estudio se constituyen fundamentalmente de procesos lingüísticos y discursivos que, como tal, son de carácter social. El laboratorio se convierte, desde esta perspectiva, en un espacio privilegiado para el análisis de la construcción de conocimiento científico: es en este espacio donde se pone en evidencia cómo los científicos se ven constantemente abocados a convencer y ser convencidos de aceptar como *hechos* las explicaciones que construyen por medio de procesos de debate y argumentación.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, se asumen como supuestos de investigación en el contexto de la enseñanza de las ciencias:

i) La actividad científica es un proceso socialmente construido, tanto en el ámbito científico como en el ámbito escolar; por lo tanto, cualquier acción en la escuela, tiene que ser una acción no hacia el individuo, sino hacia el colectivo. [3].

ii) Las representaciones internas –pensamientos– se reflejan de algún modo en las representaciones externas –enunciados, gráficos, lenguajes–; complementariamente, sólo la externalización de las representaciones nos dará indicios de la manera en que razonan los demás [20], [21].

En este sentido, se considera fundamental que en todo momento del proceso de enseñanza aprendizaje se propenda por favorecer la interacción dialógica de los estudiantes alrededor de las temáticas abordadas, con la intención de propiciar los disensos y consensos en torno a sus explicaciones y comprensiones. Estas son estrategias esenciales que permiten poner de manifiesto la construcción social de conocimiento científico en el aula.

## VI. DISCUSIÓN

La Tabla II presenta los propósitos y descripción de las actividades pedagógicas diseñadas e implementadas en la investigación.

El propósito general de estas actividades fue propender por la organización y comprensión del fenómeno de flotación de los cuerpos, por medio de la construcción de explicaciones, la promoción del diálogo y del debate, la comprensión y el uso de representaciones, y la necesidad de la adecuación entre la experiencia sensible y la formalización conceptual. En su desarrollo los estudiantes construyeron las fenomenologías y el contenido disciplinar relacionado con los procesos de medición propios del fenómeno de la flotación y su relación con el concepto de peso específico (y densidad). Es importante destacar que en todas las actividades se procuró que su implementación respondiera a las categorías y subcategorías mencionadas en la Tabla I.

El carácter dialógico de la construcción de conocimiento científico en el aula es dinámico, no sólo por la interacción que suscita sino porque una situación que inicialmente era problemática puede llegar a un estadio de consenso tal, que se utiliza como punto de partida de otras situaciones más complejas. Por ejemplo, inicialmente era problemático y había mucha polémica respecto a si todo tipo de madera y de plástico flota en agua (Actividad 1, Tabla II); posteriormente,

a través de las diferentes actividades desarrolladas se llega a la conclusión de que tanto la madera como el plástico pueden flotar o hundirse en agua, y se utiliza este resultado para explicar la noción de peso específico, lo que se constituye en una nueva base experiencial para la explicación de posteriores situaciones.

Asimismo, cuando los estudiantes identifican regularidades empiezan a organizar y formalizar su propia experiencia. Cuando enuncian, por ejemplo, que no todo objeto de madera flota, o que la madera que flota lo hace “parcialmente hundida”, identifican regularidades que pueden describirse y reproducirse. Ello significa iniciar el proceso de formalización hacia la identificación de la flotabilidad como una propiedad variable que no depende exclusivamente del cuerpo sino de su relación con el medio donde se encuentra (Actividad 2, Tabla II). En relación con esto, el análisis propuesto por Galileo [14] es particularmente interesante: un cuerpo que cae en el aire, probablemente al dejarlo libre en el agua no solo no cae sino que queda suspendido o sube hacia la superficie.

Como ejemplo del carácter dialógico de la construcción de conocimiento en el aula se ha descrito anteriormente “El problema de Sagredo”: ¿Cómo encontrar o construir un cuerpo de peso específico equivalente al del agua? (Actividad 2, Tabla II)

TABLA II  
PROPÓSITOS Y DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES DE AULA

Actividad	Propósito	Descripción
1. Flota o se hunde.	Construir una base experiencial que permita la identificación de regularidades.	Actividades relacionadas con la flotabilidad de diferentes cuerpos en diferentes medios.
2. Noción de peso específico.	Propiciar espacios de socialización y discusión de explicaciones en torno a criterios de flotabilidad de los cuerpos.	Lectura y análisis de experiencias propuestas por Galileo. Construcción de la noción de peso específico por medio del equivalente respecto a la flotabilidad.
3. Uso y comprensión de representaciones.	Identificar y representar variables asociadas a la flotación de los cuerpos.	Representación de relaciones Peso- Volumen en diferentes cuerpos.
4. Construcción y calibración de un densímetro (aerómetro).	Identificar regularidades y establecer generalizaciones respecto a la flotabilidad de un sólido en diferentes líquidos.	Diseño de instrumentos de medida que permita poner en juego la organización del fenómeno de flotación.
5. Determinación de criterios de “pureza” para ciertas sustancias.	Identificar y discutir criterios que permitan establecer la pureza de ciertas sustancias líquidas producidas en la Vereda Piedras Blancas (Guarne).	En esta actividad se hace uso del instrumento de medida construido para la determinación de criterios en colectivo.

En dicho fragmento Galileo, a través de su personaje Sagredo, incorpora la noción de peso específico, tanto para el medio como para el cuerpo y relaciona esta propiedad con la forma como el cuerpo flota en el medio. También describe cómo se puede modificar dicho peso específico de un cuerpo para lograr que sea equivalente al del medio. Al final plantea la inquietud de encontrar una substancia semejante al agua que puesta en ella pueda sostenerse (quedar suspendida) a cualquier altura. El hecho de que la bola de cera no se hunda por sí sola puede explicarse a partir de los postulados 6 y 7 de Arquímedes [22], según el cual si un cuerpo más ligero [menos denso] que un fluido es arrojado en este el cuerpo flota, y si un cuerpo más pesado [más denso] que el agua se sumerge en esta se hunde hasta el fondo.

Algunas de las preguntas que se les puede hacer a los estudiantes respecto a esta situación esbozada en el fragmento son: ¿es posible modificar un cuerpo para que su peso específico (o densidad) sea igual a la del medio en el que se encuentra? ¿Cómo construirlo? ¿Cómo consideran que el peso específico de un cuerpo afecta su flotabilidad en un medio? ¿Qué respondería a Sagredo para que solucionar el problema?

Continuando con el fragmento se propone una posible respuesta: “SALVIATI. En esto [...] los peces hubieran podido darte una lección, por ser tan peritos en esta habilidad, que a su propio arbitrio mantienen el equilibrio, no sólo en una clase de agua, sino también en las que difieren entre sí notablemente, ya por propia naturaleza, ya porque sobreviene una turbia, ya por saladura, cosas que llevan consigo grandes deferencias. Se equilibran, digo, tan exactamente que sin moverse un ápice, permanecen en quietud a cualquier profundidad. Esto, a mi parecer, lo consiguen, sirviéndose de un órgano que a tal efecto les ha dado la naturaleza; es decir, la vejiguilla [natatoria] que tienen en el cuerpo, y que por un meato angostísimo se les comunica con la boca, por la cual, a voluntad, o expulsan parte del aire, contenido en dicha vejiguilla, o subiendo a flor de agua, tragan más aire, haciéndose, con tal maña, más o menos pesados que el agua, y manteniendo el equilibrio a su placer” [14].

Del fragmento se puede inferir la idea de modificar el volumen del cuerpo, sin modificar su peso, para que éste flote a cualquier altura, aspecto que se conecta con los postulados 6 y 7 de Arquímedes mencionados [22].

Se pueden formular preguntas a los estudiantes como: ¿Qué otras formas de solucionar el problema pueden proponerse? ¿Cómo se conecta la forma de flotar de un objeto con su densidad?

A partir de la idea de Salviati, Sagredo menciona: “SAGREDO: Valiéndome yo de otro ardid, engañé a varios amigos, ante quienes me había jactado de conseguir un justo equilibrio entre aquella bola de cera y el agua. Eché en el fondo del vaso un poco de agua salada, y encima otra dulce; así pude mostrarles la bola parada en medio del agua, y volviendo siempre hacia el medio cuando se la empujaba hasta el fondo o se la subía a la superficie” [14].

Aquí, el personaje propone una modificación del medio utilizado para lograr que un cuerpo quede suspendido en este. A los estudiantes se les puede solicitar que repliquen

la situación anterior y que propongan otras situaciones diferentes. Adicionalmente que expliquen cómo sucede el evento descrito y que lo conecten con los dos postulados de Arquímedes.

Este tipo de secuencias, permite a los estudiantes asociar que la tendencia de un cuerpo a flotar o a hundirse no sólo depende del cuerpo sino también del medio, es decir, es un asunto relacional que involucra las condiciones en que se lleve a cabo el experimento y que se debe tener en cuenta la relación entre la densidad del medio y la del cuerpo. De esta manera se asocia el concepto de densidad con otras variables y fenómenos como el peso específico y la flotabilidad de los cuerpos en un fluido.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen los aportes de la Gobernación de Antioquia en su programa de becas para maestros vinculados en propiedad.

#### REFERENCIAS

- [1] A. Romero & Y. Aguilar. *La experimentación y el desarrollo del pensamiento físico. Un análisis histórico y epistemológico con fines didácticos*. Medellín: Editorial de Los Andes, 2013.
- [2] Martins, R. Philosophy in the physics laboratory: Measurement theory versus operationalism. Recuperado el 3 febrero de 2014, del Sitio Web del Group of History and Theory of Science, State University of Campinas (Unicamp), Brazil: <http://www.ghtc.usp.br/server/pdf/ram-IHSPt-measurement.PDF>, 2007.
- [3] S. Malagón, M. Ayala & O. Sandoval. *El experimento en el aula: comprensión de fenomenologías y construcción de magnitudes*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional, 2011.
- [4] Romero, A., Mosquera, Y. & Mejía, L. Naturaleza de las ciencias y formación de formación de profesores de física. El caso de la experimentación. *CPU-e, Revista de investigación educativa*, 23, 75-98, 2013.
- [5] L. Fleck. *La génesis y el desarrollo de un hecho científico*. (L. Meana, Trads.) Madrid: Alianza Editorial, (Trabajo original publicado en 1935), 1986.
- [6] Hodson, D. Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las ciencias*, 12 (3), 299-313, 1994.
- [7] Ramírez, E. J. Aportes de la investigación-acción educativa en la enseñanza de las ciencias básicas. *Entre Ciencia e Ingeniería*, (6), 60-71, 2009.
- [8] A. Latorre, D. Rincón & J. Arnal. *Bases metodológicas de la investigación educativa*. Barcelona: Grafiques 92, 1996.
- [9] R. E. Stake. *Investigación con Estudio de Casos*. Madrid: Tercera edición. Ediciones Morata, SRL. Traducción por RocFilella, 2005.
- [10] B. Latour & S. Woolgar. *La vida en el laboratorio: la construcción de los hechos científicos*. Madrid: Alianza Editorial, 1995.
- [11] N. Campbell. Medición. En Newman, J. (ed). *Sigma: El mundo de las matemáticas*, tomo 5. Barcelona: Ediciones Grijalbo, 1994.
- [12] P. Duhem. *La Teoría Física. Su Objeto y su Estructura* (M.P. Irazzábal, Trads.) Barcelona: Herder Editorial (Trabajo original publicado en 1914), 2003.
- [13] P. Guidoni & M. Arcá. *Guardare per sistemi, guardare per variabili*. Turín: Emme Edizioni, 1987.
- [14] G. Galilei. Discorsi intorno a due nuove scienze. San Román, J. (Traductor) (2003). Losada: Buenos Aires. Pp. 104 – 106, 1638.
- [15] E. Mach. Adaptación de los pensamientos a los hechos y de los pensamientos entre sí & La experimentación física y sus guías. En: “*Conocimiento y error*”. 1905. Editora Espasa-Calpe Argentina S.A., Buenos Aires, 1948.
- [16] Romero, A. & Rodríguez, L.D. La formalización de los conceptos físicos. El Caso de la velocidad instantánea. *Revista Educación y Pedagogía*. (15) 35: 57-67, 2003.
- [17] T. S. Kuhn. Posdata. En T. S. Kuhn (Ed), *La estructura de las*

*revoluciones científicas* (268-319). México: Fondo de cultura económica, 1969.

- [18] Romero, A. Reflexiones acerca de la naturaleza de las ciencias como fundamento de propuestas de enseñanza: el caso de la experimentación en la clase de ciencias. En: Romero, A. et al. *La argumentación en la clase de ciencias, aportes a una educación en ciencias en y para la civilidad fundamentada en reflexiones acerca de la naturaleza de las ciencias.*, Ed. Artes y Letras, Medellín, 2013, pp. 71-98.
- [19] Iglesias, M. “El giro hacia la práctica en filosofía de la ciencia: una nueva perspectiva de la actividad experimental”. *Opción*, 20 (44), 98 – 119. Maracaibo: Universidad del Zulia, 2014.
- [20] M. Arcá, P. Guidoni & P. Mazzoli. *Enseñar Ciencia. Cómo Empezar: reflexiones para una educación científica de base.* Barcelona: Ediciones Paidós, 1990.
- [21] A. Candela. *Ciencia en el aula: los alumnos entre la argumentación y el consenso.* México – Buenos Aires – Barcelona: Paidós, 1999.
- [22] F. Vera. Científicos Griegos. Recopilación, estudio preliminar, preámbulos y notas. Sobre los cuerpos flotantes. Aguilar. Madrid. Pp. 238 – 245, 1970.



**Ángel Enrique Romero Chacón.**

Licenciado en Física de la Universidad Pedagógica Nacional (Bogotá, Colombia), Magíster en Docencia de la Física de la misma Universidad y Doctor en Epistemología e Historia de las Ciencias y las Técnicas de la Université de Paris VII, Denis Diderot (París, Francia).

Es coautor de varios los libros entre los que se encuentran: La experimentación en la clase de ciencias, aportes para una enseñanza de las ciencias contextualizada con reflexiones metacientíficas; La experimentación y el desarrollo del pensamiento físico, un análisis histórico y epistemológico con fines didácticos y La argumentación en la clase de ciencias, aportes a una educación en ciencias en y para la civilidad fundamentada en reflexiones acerca de la naturaleza de las ciencias. También ha escrito varios artículos para revistas científicas, filosóficas y culturales del país.

El profesor Romero Chacón es miembro de la Asociación de Filosofía e Historia de la Ciencia del Cono Sur (AFHIC) y de la Asociación Colombiana de Profesores de Física. Se desempeña como profesor titular adscrito a la Facultad de Educación de la Universidad de Antioquia, en los niveles de pregrado y posgrado. También coordina el grupo Estudios Culturales sobre las Ciencias y su Enseñanza (ECCE) y el programa de Maestría en Educación en Ciencias Naturales de la misma Universidad.



**Jaime Antonio Quinto Moya,** nació en Quibdó, Colombia, el 20 de julio de 1977. Licenciado en Química y Biología de la Universidad Tecnológica del Chocó “Diego Luís Córdoba” (Quibdó, Colombia), y Magíster en Educación en Ciencias Naturales de la Universidad de Antioquia (Medellín, Colombia).

Es co-autor del libro: La experimentación en la clase de ciencias, aportes para una enseñanza de las ciencias contextualizada con reflexiones metacientíficas.

El profesor Quinto-Moya se desempeña como docente en propiedad de la Secretaría de Educación y para la Cultura del Departamento de Antioquia, en el Municipio de Guarne, adscrito al Área de Ciencias Naturales y Educación Ambiental en los niveles de Básica y Media Vocacional, y como docente de cátedra de la Facultad de Educación de la Universidad de Antioquia, en el programa de Pedagogía Infantil. También es miembro del grupo Estudios Culturales sobre las Ciencias y su Enseñanza (ECCE) de la Universidad de Antioquia.