



APORTES DE LA HISTORIA Y LA FILOSOFÍA EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS A PARTIR DE LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL ASOCIADA A LA HIDRÁULICA

CONTRIBUIÇÕES DA HISTÓRIA E DA FILOSOFIA NO ENSINO DE CIÊNCIAS A PARTIR DA ATIVIDADE EXPERIMENTAL ASSOCIADA À HIDRÁULICA

CONTRIBUTIONS FROM THE HISTORY AND PHILOSOPHY IN SCIENCE TEACHING THROUGH THE EXPERIMENTAL ACTIVITY RELATED TO HYDRAULICS

Helga Viviana Almeida Sánchez *, Edwin Germán García Arteaga**

Almeida, H.; García, E. G. (2022). Aportes de la historia y filosofía en la enseñanza de las ciencias a partir de la actividad experimental asociada a la problematización de la hidráulica. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, v18, n1. pp.134-148. DOI: 10.14483/23464712.19116

Resumen

El presente artículo recoge avances del proyecto de investigación sobre historia y filosofía de las ciencias en la enseñanza de la física, específicamente sobre la hidráulica. La pregunta central, a propósito de las necesidades sociales, la desigualdad y vulnerabilidad social durante el primer cuarto del siglo XXI es; ¿Qué física enseñar hoy en día? y ¿con qué finalidad la hidráulica? El documento reconoce la importancia histórica de la actividad experimental en la ciencia, la fenomenología asociada y la riqueza conceptual que hay detrás de ella, la cual, en general ha sido muy limitada a nivel educativo. Tampoco se aprecia cómo la perspectiva histórica de las ciencias favorece la comprensión del mundo y es un aporte a las problemáticas sociales actuales. En lo referente a la enseñanza de la hidráulica, se evidencia la ausencia de la actividad experimental, los conceptos como presión, velocidad, continuidad y el principio de Bernoulli se enseñan por medio de procesos de memorización y aplicación de algoritmos matemáticos carentes de sentido y sin incidencia en la cotidianidad de los estudiantes. La propuesta del proyecto de investigación es re contextualizar la actividad experimental asociada a la hidráulica, así como los procesos de formalización asociados, desde las preocupaciones propias de científicos como Arquímedes, Pascal, Da Vinci y Bernoulli entre otros, quienes

Fecha de envío: Febrero 2022 / Fecha de aprobación: agosto de 2022.

* Magíster en Pedagogía. Estudiante Doctorado Interinstitucional en Educación Universidad del Valle – Cali, Colombia. E-mail: Helga.almeida@correounivalle.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4678-7676>

** Doctor en Didáctica de las Ciencias Experimentales. Docente Universidad del Valle – Cali, Colombia. E-mail: Edwin.garcia@correounivalle.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7890-1886>

aportaron en la construcción de sentido y significado del fenómeno en estudio. En este sentido, el objetivo de este artículo es recoger y analizar la documentación histórica de la hidráulica y realizar un análisis histórico crítico del texto de Johan Bernoulli *Hydraulics* y sus antecesores para finalmente desde un enfoque de la didáctica de las ciencias, proponer núcleos de actividades, en torno a las problemáticas registradas para la enseñanza de la hidráulica en la formación inicial de profesores en este campo.

Palabras clave: Actividad Experimental. Historia de las Ciencias. Enseñanza de las Ciencias. Hidráulica.

Resumo

Este artigo reúne avanços de um projeto de pesquisa sobre a história e a filosofia da ciência no ensino da física, especificamente da hidráulica. A questão central da tese, a respeito das necessidades sociais, desigualdade e vulnerabilidade social durante o primeiro quarto do século XXI é; O que ensinar sobre física hoje? e com que propósito? O documento reconhece a importância da atividade experimental na ciência, além da fenomenologia associada e da riqueza conceitual que a fundamenta, mas que geralmente tem sido muito limitada a nível educacional, e não se aprecia a maneira em que a perspectiva histórica favorece a compreensão do mundo e sua contribuição para os problemas sociais atuais. No que se refere ao ensino da hidráulica, fica evidente a falta de compreensão da atividade experimental, onde conceitos como pressão, velocidade, lei da continuidade e princípio de Bernoulli costumam ser ensinados por meio de processos de memorização e aplicação de algoritmos matemáticos desprovidos de sentido e sem incidência na vida cotidiana dos alunos. O objetivo deste artigo é coletar e analisar a documentação histórica da hidráulica para realizar uma análise histórico crítica do texto de Johan Bernoulli *Hidráulica*, e seus antecessores e assim finalmente identificar e recontextualizar a atividade experimental associada à hidráulica, bem como os processos de formalização associados às preocupações de cientistas como Arquímedes, Pascal, Da Vinci e Bernoulli, entre outros, contribuíram para preencher de sentido e de significado ao fenômeno em estudo. Finalmente, a partir de uma abordagem didática da ciência, propor atividades experimentais em torno dos problemas estudados para o ensino da hidráulica na formação inicial nesta área.

Palavras chave: Experimentação. História das Ciências. Ensino de Ciências. Hidráulica.

Abstract

This paper collects advances in the research project on the history and philosophy of sciences in physics teaching, focused on hydraulics. The research question regarding social needs, inequality, and social vulnerability during the first quarter of the 21st century is; What physics to teach today? And for what purpose are hydraulics? The document recognizes the historical importance of experimental activity in science, the associated phenomenology, and the conceptual richness behind it, which, in general, has been very limited at the educational level. Nor is

it appreciated how the historical perspective of science favors the understanding of the world and it is a contribution to current social problems. Regarding the hydraulics teaching, the absence of experimental activity is evident. Concepts such as pressure, speed, continuity, and Bernoulli's principle are taught through processes of memorization and application of meaningless mathematical algorithms and without impact on the daily lives of students. The research project proposes to re-contextualize the experimental activity associated with hydraulics, as well as its formalization processes, from the concerns of scientists such as Archimedes, Pascal, Da Vinci, and Bernoulli, among others, who contributed to the construction of meaning and significance of the phenomenon under study. In this sense, the objective is to collect and analyze the historical documentation of hydraulics and to carry out a critical historical analysis of the text of Johan Bernoulli Hydraulics and its predecessors to finally, from a science didactics approach, propose core activities around the problems registered for the teaching of hydraulics in the initial training teachers in this field.

Keywords: Experimentation. Science history. Science teaching. Hydraulics

1. Introducción

En las aulas de clase, en todos los niveles de escolaridad se evidencian dificultades en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, pues, esta suele enseñarse desde una imagen triunfalista, ahistórica y lineal por parte del docente, y como menciona García (2009) “como un producto terminado, de verdades absolutas, donde las leyes de la naturaleza existen independientes de los sujetos, donde los conceptos derivados de ella son únicos y donde el experimento se da simplemente como elemento comprobador de la teoría, y suele aprenderse en forma memorística, mecánica y ausente de comprensión significativa”.

Es necesario avanzar en la reestructuración de la enseñanza de la física desde perspectivas culturales para reorientar la concepción de ciencia, el papel de la historia y la actividad experimental que se da en los procesos de formación docente. Ver la ciencia como una actividad cultural, transforma nuestra imagen de naturaleza y nuestra forma de vernos inmersos en ella, los problemas que han sido preocupaciones históricas toman ahora un valor en la medida que representan problemáticas en nuestra sociedad

actual. Además, estrechar los vínculos entre la historia y la enseñanza de la ciencia permite, tal como lo menciona Matthews (1994), humanizar la ciencia y acercarla a intereses personales, éticos, culturales y políticos, así como contribuir a la organización de clases más estimulantes y enseñar métodos y procesos de pensamiento crítico en los estudiantes.

Abordar la historia de las ciencias para estudiar la actividad experimental (en este caso, la hidráulica) resulta significativo, porque implica comprender las problemáticas de los científicos, ya que en su contexto inmediato propusieron y desarrollaron modelos y experimentos para establecer un camino de solución y reflexión. En este sentido, se logró realizar una propuesta en términos de los problemas de los científicos, que, desde nuestra mirada y análisis permitieron construir la hidráulica, organizar el fenómeno y formalizarlo. Se estudió la actividad experimental en Arquímedes, Da Vinci, Galileo, Torricelli, Castelli, Mariotte, Pascal, Newton y J. Bernoulli, teniendo en cuenta la fenomenología y la formalización matemática para dar solidez a los estudios de la hidráulica.

La importancia de la actividad experimental reconocida en la filosofía de las ciencias, como un giro necesario en las reflexiones sobre la teoría y experimento desde Hacking (1996) orienta un nuevo sentido a la relación teoría-práctica, en la que se reconocen los problemas de racionalidad, objetividad y mundo, y en la que se redefinen nuevos problemas filosóficos, y con ello se promueve una nueva imagen de ciencia, donde la actividad experimental aparece a partir de preguntas con vida propia independientes de la teoría. Poner de manifiesto que la historia y la filosofía de la ciencia promueve una imagen de ciencia diferente implica que hay una riqueza conceptual en la propia actividad experimental (Ordoñez y Ferreiros 2002), donde se generan procesos de cambio complejos y se construyan nuevas representaciones y usos de nuevos recursos retóricos (Pickering, 1992).

Para la didáctica de las ciencias, el uso de la actividad experimental en los procesos de enseñanza se ha vuelto recurrente, pero no cualquier actividad, sino aquella que desde García A, Izquierdo M (2014), García, E (2018) y Romero, A (2018) entre otros, promueve como finalidad la recontextualización de actividades experimentales en el contexto educativo para que los alumnos consigan construir explicaciones de los hechos del mundo y sean capaces de actuar responsablemente con criterio y pensamiento crítico.

2. Marco de Referencia

2.1 Enseñar física en el siglo XXI

El comprender el mundo natural y su funcionamiento actual permite estructurar un sentido para la actividad educativa desde un saber disciplinar como la física que es patrimonio cultural de la humanidad. De acuerdo con Izquierdo, M y Adúriz B (2002) el comprender cómo las ideas complejas que llevaron siglos de arduo trabajo a la humanidad se configuran como una potente herramienta intelectual que se enseña en el aula de clase con distintos niveles de formalidad y para cada momento del aprendizaje.

La realidad en el contexto actual muestra que la actividad científica en el aula no genera motivación en los estudiantes. Al revisar el proceso educativo, los contenidos y la forma como se lleva a cabo la enseñanza se encuentra un predominio en los principios, leyes y teorías expresadas como productos en los cuales el conocimiento por medio de la actividad experimental es utilizado para verificar la teoría y en el caso específico de la hidráulica en la educación media no se realizan experimentos, esto es, se plantea una visión lineal de la ciencia, resultando necesario construir una imagen de ciencia en la que el docente aparte la mirada clásica en la que está sólo sirva para validar un procedimiento, verificar y cuantificar la ciencia. Lo anterior evidencia que esta manera de enseñar no permite comprender los fenómenos o las situaciones que se presentan en la vida cotidiana, o ser crítico ante ellos. Por tanto, y de acuerdo con Ruiz (2005):

“Existe la necesidad de realizar cambios profundos en la enseñanza de las ciencias en todos los componentes del proceso de enseñanza, enfatizándose en qué ciencia debe enseñarse en la escuela para lograr el desarrollo de la necesaria equidad en el dominio de los contenidos científicos y en el alcance de una cultura científica que posibilite al ser humano adaptarse a las nuevas condiciones de vida que se imponen; donde la enseñanza de las ciencias deberá influir mucho más en la formación de las nuevas generaciones, en los valores universales y los de cada una de nuestras naciones”.

Una imagen de ciencia como actividad cultural permite tener una aproximación flexible al conocimiento donde es posible que la enseñanza se centre en actividades problémicas que se relacionen con la vida diaria y con el desarrollo de la sociedad, esto permite que el docente plantee actividades en las cuales enseñe a tomar decisiones, a analizar variables de una situación, a categorizarlas, a diferenciarlas y estudiarlas desde la actividad experimental, tal como sugiere García, et al. (2002) en donde es posible diseñar y crear instrumentos que permitan registrar experiencia sensible, así como verificar y

contrastar las hipótesis y orientar un trabajo experimental exploratorio, el cual está fundamentado en modelos del fenómeno y conocimiento práctico de aparatos e instrumentos. Es así que, como sugiere García y Estany (2010) se requieren plantear experimentos que involucren problemáticas y que tengan en cuenta la riqueza conceptual en sí mismos, esto es, plantear actividades experimentales que permitan explorar e indagar sobre el comportamiento de un determinado fenómeno. Ahora bien, enseñar física desde una perspectiva histórico crítica, permite re contextualizar saberes y hacer un uso alternativo de la historia que permita implicar las problemáticas asociadas a las actividades experimentales de los científicos, no en buscar episodios históricos para recrearlos, sino para que estos sean transformados según las necesidades en un contexto educativo específico y procurando una construcción significativa del fenómeno en estudio. Alcanzar este uso alternativo de la historia es viable en tanto sea posible hacer lectura y análisis de textos científicos originales, lo que permite comprender y tomar conciencia de las transformaciones de los conceptos, la importancia de los problemas, los diseños experimentales y las formas de representación que se dieron históricamente y que se vuelven relevantes para el aula de clase.

2.2. Enseñanza de la hidráulica

La enseñanza tradicional de la hidráulica se ha enfocado en el cumplimiento de un programa compuesto de temáticas como presión, ley de continuidad, principio de Bernoulli que son desarrollados como actos de memorización y aplicación de algoritmos para la solución de problemas, poco se realizan actividades experimentales asociadas. Según Homsy (2001), Fraser, Pillay, Tjatindi y Case (2007) hay grandes dificultades en la vinculación de parámetros como geometría del recipiente en que se desplaza, la densidad del medio y la velocidad del fluido, pero principalmente la dificultad del paso de lo discreto a lo continuo al introducir la hidráulica. La cotidianidad del estudiante tampoco se reconoce como un aspecto

importante para la comprensión del fenómeno, ignorando de esta manera la gran incidencia que tiene la hidráulica en situaciones del contexto.

En este sentido, proponer situaciones contextualizadas, que pueden ser utilizadas desde un punto de vista didáctico permite introducir conceptos, motivar, promover actitudes, relacionar conocimientos de diferentes áreas, es por ello que al hacer uso de la historia en la enseñanza permite seleccionar textos históricos y leerlos como en una clase de literatura para con ello, observar la forma como fue pensada su elaboración, quién los iba a leer y reflejar los valores y la cultura de una época, dar a conocer ejemplos históricos, personajes que permitan comprender los aspectos humanos de la ciencia y el conjunto de valores en los cuales se han desarrollado, evidenciando que la hidráulica no ha tenido un desarrollo lineal y que se ha construido en torno a las preguntas que se han planteado desde las problemáticas de la cotidianidad, pero en la educación media se hace énfasis a la hidrostática y se relega la hidráulica, siendo los fenómenos de esta última los que se presentan en la cotidianidad de los estudiantes en la aplicación a la industria, en las tuberías de agua, entre otras.

Por esta razón, surge la necesidad de replantear la enseñanza de la hidráulica y para ello, en esta investigación se realiza un recorrido histórico a través de los estudios realizados por los científicos que contribuyeron en la construcción de la hidráulica, principalmente desde la obra del físico y matemático Johann Bernoulli a través de la obra *Hydraulics*.

2.3. El papel de la Historia de la Ciencia para la Didáctica

Reconocer la importancia de la historia y la filosofía de la ciencia se hicieron evidentes durante el siglo XX. Ambas son fundamentales en la comprensión de ciencias, tal y como lo sugiere Lakatos al afirmar que no se reconoce la filosofía sin historia, pues la filosofía sin la historia es vacía y la historia sin la filosofía es ciega.

Sin embargo, la importancia de la historia y la filosofía de la ciencia en la enseñanza de la física

sigue siendo marginal. Los aportes de los historiadores y filósofos de la ciencia, se recogen por parte de los investigadores en didáctica para hacer propuestas alternativas para la enseñanza. En este sentido, avanzar en la filosofía historicista es reconocer una imagen de ciencia cercana a la actividad del científico en su producción y validación para lo que Kuhn (1962) establece que la historia debe plantear nuevas preguntas y desarrollar diferentes alternativas para las ciencias que no sean de carácter acumulativo y por el contrario, aporte principalmente en la transformación conceptual, a la construcción significativa de conocimiento, identificación de controversias e interpretaciones históricas que aparecen en los textos, favorecimiento en la selección de contenidos no desde los ejes temáticos sino de los elementos estructurantes del fenómeno, reconocimiento de problemas históricos significativos y con ello reconstruir los conocimientos científicos, identificación de las grandes crisis de la física y ajuste de teorías, determinación de problemas pendientes y creación científica por parte del estudiante cuando se comparan las preconcepciones de los alumnos con los hallazgos científicos, se clarifica que la ciencia no es acumulativa y que la aceptación de la contribución del científico se basa en la naturaleza colectiva del trabajo científico, una ciencia más humana, al alcance de todos y comprendida como una representación del mundo ante nuevos ojos donde la intervención en la naturaleza transforme las dinámicas sociales y culturales.

Desde esta perspectiva, dentro de los principales aportes del uso de la historia y la filosofía en la enseñanza de las ciencias se destaca la facilidad para identificar las dificultades conceptuales, sociales, políticas que rodearon a los científicos, la identificación de problemas, fenómenos, hechos, actividades experimentales de diferentes épocas que favorecieron la construcción de los conceptos, leyes y teorías que se emplean para explicar la hidráulica; además de ello, permite formular propuestas en la enseñanza y en el diseño del currículo, los cuales son algunos de los aportes fundamentales del uso de este recurso

según lo resalta Fernandez, Gil, Carrascosa y Cachapuz, 2002; Matthews, 1989, 1991, 1994; Solbes & Traver, 1996.

Finalmente, se hace importante en este caso, enfocar el uso de textos históricos, es decir, las obras originales, las cuales desde la mirada de Kuhn (1962) permiten comprender los problemas que originalmente motivaron a la elaboración del conocimiento, a partir del análisis de la situación problemática que llevó a la construcción de los conceptos. El hacer uso de textos originales resulta para el docente una opción importante en la selección y estructuración de contenidos para la enseñanza, teniendo en cuenta la complejidad del fenómeno y el nivel de escolaridad del educando.

2.4 Historia de la Actividad Experimental

Recurrir a la historia de la actividad experimental es fundamental para la enseñanza de la física, posibilita una mejor comprensión del quehacer científico, acerca los contextos, humaniza la ciencia e influye culturalmente. La tradición científica reconoce la importancia que la actividad experimental ha tenido en la construcción y validación del conocimiento científico en todas las épocas, pero ha negado la autenticidad de sus formas de organización, sometiendo siempre los experimentos a contrastar las teorías o en el mejor de los casos a demostrar la veracidad de las mismas, nunca a considerar lo contrario, que el experimento mismo también ha permitido construir y teorizar el mundo (Gooding, 1986). Este equilibrio, como menciona Hacking (1983) reconoce que la ciencia no puede reducirse sólo a las teorías científicas, sino que la actividad experimental es esencialmente un modo de intervención que se dirige hacia lo que los científicos hacen en los laboratorios y como ellos actúan allí; los procesos de cambio, complejos e incluyen una construcción de nuevas representaciones, usos de nuevos recursos retóricos y nuevas posibilidades de mejorar la difusión Pickering (1992). de allí se desprende que la finalidad de las actividades experimentales en el contexto

educativo sea contribuir a que los alumnos consigan elaborar explicaciones teóricas de los hechos del mundo y sean capaces de actuar responsablemente con los criterios científicos que son propios de la ciencia escolar. Resalta destacar entonces que la actividad experimental como núcleo central en los procesos de enseñanza sea imprescindible y, por tanto, su objetivo final es transformar lo práctico en teórico.

3. Procedimientos metodológicos

3.1 Análisis histórico- crítico

La investigación permitió hacer una aproximación histórica a la hidráulica desde la identificación de situaciones problemáticas que generaron el surgimiento de los conceptos fundamentales en la comprensión de la hidráulica, acudiendo a las fuentes originales, artículos de historiadores y libros sobre hidráulica, entre ellos, la obra de Johan Bernoulli, en su versión en inglés (Hydraulics). Este tipo de documentación permitió un análisis de la historia de la hidráulica que derivó en una mirada alternativa a la enseñanza, dando al docente elementos que le permiten conocer el panorama científico, dilucidar hechos, datos e instrumentos, buscar intereses, éxitos y fracasos de los científicos, el desarrollo teórico y cultural, las políticas influyentes y las ideologías de los científicos. (Stiefel, 1992).

Se pretende realizar una propuesta en términos de problematizaciones que permitan construir la hidráulica desde la obra *Hydraulics* de Johan Bernoulli y los aportes de científicos que contribuyeron en la construcción del fenómeno tales como Arquímedes, Da Vinci, Galileo, Torricelli, Castelli, Mariotte, Pascal, Newton y J. Bernoulli. Esta selección se realiza a partir de los conceptos que estructuran la enseñanza de la hidráulica.

Se destaca el uso de originales para el análisis histórico crítico para comprender como menciona Kuhn (1962) los contextos culturales y

científicos en los que fueron producidos, entender las problemáticas que originalmente motivaron a la elaboración de un conocimiento particular y permiten, además, un acercamiento al proceso que hizo surgir lo nuevo a partir de la situación problemática y los debates entre posiciones contrapuestas.

En este sentido, retornar a las fuentes originales puede ayudar a entender que los conceptos son presentados de forma precisa y a través de un proceso finalizado; por tanto, este estudio enriquece el concepto, lo flexibiliza y lo reconoce como inacabado y en construcción constante.

Este proceso investigativo se desarrolló en tres momentos:

1. Identificación y recolección de documentos históricos sobre la hidráulica principalmente desde obras originales, artículos e investigaciones previas.
2. Selección de actividades experimentales propias de situaciones problemáticas a través de los hechos científico históricos que sirvieron como fundamento para la continuidad y consolidación de las explicaciones sobre la hidráulica.
3. Análisis histórico crítico de las actividades experimentales determinadas a través de las problemáticas, preguntas orientadoras que lleven a comprender la hidráulica y que resulten relevantes en la didáctica.

4. Resultados

El análisis histórico crítico de las problemáticas seleccionadas partió desde el estudio del comportamiento en reposo y la forma como evolucionaron los conceptos en distintas épocas desde la mirada de diferentes científicos hasta establecerse en movimiento y llegar a los procesos de formalización, esto es, problematizando los momentos y presentando de forma alterna la organización de la

fenomenología que permita evidenciar las perspectivas de la actividad experimental.

Estas problemáticas se han organizado por medio de preguntas orientadoras que sirvieron como criterios de análisis y permitieron construir un panorama histórico fueron:

¿Cuál fue la problemática que hizo referencia al concepto de hidráulica?, ¿hay transición del concepto de presión en los fluidos en reposo a fluidos en movimiento?, ¿Cuáles son los hechos científicos que se destacan en la hidráulica? ¿Cómo se consolidó y formalizó la hidráulica?

En este sentido, al seleccionar los episodios históricos que llevaron a la construcción de la hidráulica, se puede identificar que el proceso teórico experimental involucró algunos científicos que estuvieron vinculados investigativamente en la exploración del fenómeno en épocas anteriores pero que permitieron dar un direccionamiento hacia la comprensión y formalización del fenómeno.

La organización de las problemáticas históricas que llevaron a la construcción de la hidráulica, según nuestro criterio, se muestra a continuación:

a. El problema del equilibrio de los líquidos:

La preocupación por el transporte del agua en la antigua Grecia, empieza a establecer cuestionamientos y actividades experimentales para comprender y resolver dichas problemáticas. La flotabilidad era sin dudas una preocupación central. Arquímedes se pregunta por el comportamiento de los cuerpos al ser sumergidos y se pregunta ¿por qué algunos se hunden y otros flotan?, ¿por qué algunos medios ofrecen resistencia a ser penetrados? La actividad experimental en Arquímedes sobre la flotabilidad es muy prolífica, y es recogida en García (2009) a través de la siguiente pregunta: ¿podemos afirmar con seguridad que los objetos pesados se hunden en el agua y los livianos flotan? para ello se presenta actividad experimental con diversos materiales, formas y tamaños, encontrando que a diferencia de lo que dicen algunos libros de texto, la flotación no depende directamente del peso de los objetos, sino que también intervienen, su

forma, el material del que está hecho, la densidad del medio en el que se sumerge, el área de sustentación o de contacto con el medio y la temperatura del mismo...aspectos no reconocidos en la enseñanza tradicional. preguntas que se derivan de la actividad experimental como ¿De qué manera el medio cambia la resistencia cuando cambian las condiciones del objeto que flota? permiten profundizar el fenómeno de la flotabilidad.

El propio Arquímedes narra la formulación de uno de los principios fundamentales de hidrostática, "Sobre los cuerpos flotantes", así:

Postulado I. Supongamos que un fluido es de tal carácter que, sus partes son uniformes y continuas, la parte que se empuja menos se conduce por lo que se empuja más; y que cada una de sus partes es empujada por el fluido que está por encima de ella en una dirección perpendicular si el fluido se hunde en cualquier cosa o se comprime por otro (p. 538).

A partir de este postulado se destacan las proposiciones IV, V, VI y VII:

Proposición IV. Un sólido más ligero que un fluido, si se sumerge en él, no se sumerge completamente, sino que parte de él se proyectará sobre la superficie (p. 539).

Proposición V. Cualquier sólido más ligero que un fluido, si se coloca en el fluido, al estar sumergido el peso del sólido será igual al peso del fluido desplazado (p. 540).

Proposición VI. Si un sólido más ligero que un fluido se sumerge forzosamente en él, el sólido será empujado hacia arriba por una fuerza igual a la diferencia entre su peso y el peso del fluido desplazado (p. 540).

Proposición VII. Un sólido más pesado que un fluido, si se coloca en él, desciende al fondo del fluido, y el sólido, cuando se pesa en el fluido, será más ligero que su peso real por el peso del fluido desplazado (p. 541). (Arquímedes, 1897).

Un estudio más detallado sobre el equilibrio de los cuerpos lo encontramos en B. Pascal, en su obra "Traité de l'équilibre des liqueurs" publicada en 1663. Allí, él considera que la presión es la razón fundamental de la flotabilidad. La actividad experimental en Pascal es amplia y rica en posibilidades. Estudiar líquidos en equilibrio con diferentes formas y a diferentes alturas le llevó a establecer que "la presión ejercida sobre un líquido es proporcional a la profundidad del mismo" y todos los puntos que se encuentren a la misma altura tendrán exactamente la misma presión, aspecto relevante, que para nuestro estudio, permite explorar experimentalmente sobre; la diferencia de presiones a diferentes alturas en un mismo líquido, comparar las presiones en diferentes líquidos a alturas similares (agua, mercurio, aceite...) comparar presiones en líquidos con el aire considerándolo también como un líquido más.

El fenómeno del equilibrio de los líquidos es central en el estudio de los fluidos, pero en la enseñanza que presentan los textos ha sido limitado a una relación entre fuerza y área empleada desde la expresión matemática, para todas las situaciones dando una interpretación limitada del concepto, no tienen en cuenta las condiciones que pueden interferir en el fenómeno, las implicaciones del peso, la resistencia de las paredes del recipiente, la densidad y temperatura del medio. Tampoco se reconoce el papel de los aparatos e instrumentos empleados por Pascal para sus estudios como son las jeringas, tubos en U y vasos comunicantes, entre otros y demás situaciones que pongan en evidencia el comportamiento de los líquidos en equilibrio, esto es, dar relevancia a los instrumentos para establecer la presión en las condiciones de reposo. Como menciona García (2009) se puede hacer un estudio comparativo con el estudio de los resortes, como lo hizo R Boyle, donde el aire y el agua se equilibran entre sí y ver modificaciones del fenómeno al variar las posiciones y profundidades entre ellos, la

presión es la misma en todos los puntos que se encuentren a la misma altura o profundidad, esto es, en términos de Pascal "cuando se trata del equilibrio de un líquido la presión tiene la misma magnitud en todos los puntos que se encuentren a la misma altura". (Pascal, 1663) tal como se observa en la Figura 1. en la cual la presión debida a la fuerza ejercida sobre las paredes del recipiente se transmite por igual en todas las direcciones.

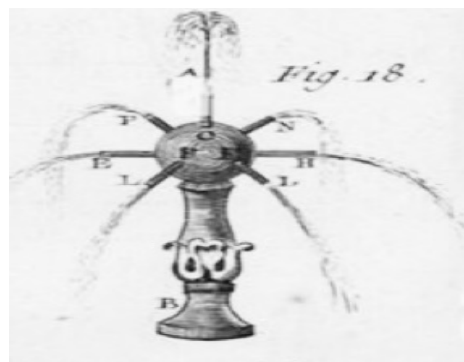


Figura 1.
Presión
igual en
todas las

direcciones. M. D'Alembert: Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences.

Fuente: Genève: chez Pellet (1778).

b. El problema de la caída del agua desde diferentes alturas.

Desde los estudios de la caída de los cuerpos analizada por Galileo, se identifica la aceleración natural de los cuerpos. La preocupación de Galileo se enfoca en el hecho de que no se siente satisfecho con la explicación de que la caída de los cuerpos sea exclusivamente dependiente del peso, por ello elabora situaciones basadas en la experimentación y la observación del movimiento de una esfera sobre un plano inclinado logrando mostrar que:

"si un móvil con movimiento uniforme acelerado desciende desde el reposo, los espacios recorridos por él en tiempos cualesquiera, están entre sí como la razón al cuadrado de los mismos tiempos, es decir los cuadrados de los tiempos" (Galilei, 1945 p.221). Agrega, que la diferencia entre la velocidad de caída de cuerpos de diferente peso es ocasionada por factores como la resistencia que opone el medio al

desplazamiento afirmando que: “no es la diversidad del peso la causa de las diferentes velocidades de los móviles distintos en gravedad, sino que estas diferencias dependen de accidentes exteriores y en particular de la resistencia del medio: de modo que eliminada esta, todos los móviles se moverían con los mismos grados de velocidad” (Galilei, 1945 p.102).

Este análisis de Galileo nos brinda elementos para estudiar el comportamiento del agua en analogía con la caída de los cuerpos, al respecto nos preguntamos ¿Cómo es la velocidad de caída del agua para diferentes alturas? y ¿cómo es la velocidad de salida del agua de tubo a diferentes profundidades? Torricelli, contribuye a la misma haciendo énfasis en las variaciones de forma, altura del recipiente y longitud del mismo, establece que lo que modifica la velocidad de salida se ve influenciado por la diferencia de las alturas entre la superficie y la posición del orificio por donde sale el agua, en este sentido también puede analizarse la velocidad desde la relación con el diámetro del orificio por el cual sale, siendo esto el planteamiento principal del principio de continuidad, donde se establece que el líquido en un orificio más pequeño fluirá con mayor velocidad

Leonardo Da Vinci evidencia en sus escritos sobre tubos que a mayor profundidad de un líquido mayor es la velocidad de salida por un orificio en las paredes y por tanto mayor el alcance horizontal. La actividad experimental observada en la Figura 2. es realizada con líquidos a diferentes alturas, chorros de distintos alcances y medios diferentes, permitiendo caracterizar la relación entre la altura de caída y velocidad de chorro, estudia el flujo de los ríos rectos en los sectores cercanos a las paredes y en la parte central del mismo, encontrando que la velocidad del río es diferente en la superficie con relación al fondo, diseña canales, donde se establece que un río en cada parte de su longitud en un tiempo igual da paso a una cantidad igual de agua cualquiera que sea el ancho, estudia canales con diferentes pendientes, con niveles de rugosidad, estudia la tortuosidad y los remolinos

y analiza cómo la forma como un río de profundidad uniforme tendrá un flujo más rápido en la sección más estrecha que en la más ancha, en la medida en que el ancho mayor sobrepasa el menor; esta afirmación es una aproximación cualitativa de la ley de continuidad, que se establece un siglo después. Castelli también realizó aportes en esta dirección, estudia el comportamiento con otros líquidos como mercurio y alcohol, indicando así que esta ley es independiente del líquido en cuestión, analiza los líquidos en movimiento a través de conductos, donde encuentra que “la resistencia a fluir de un líquido se debe también a la curvatura de los conductos”, aconsejó realizar instalaciones de tubería lo más rectas posibles para lograr un flujo óptimo.

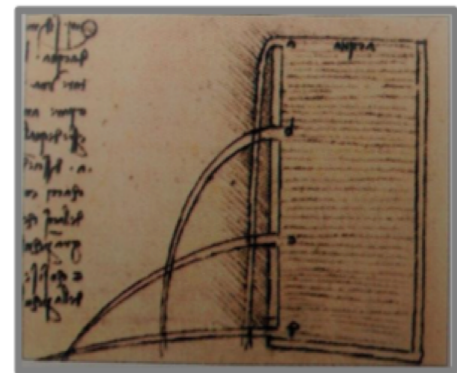


Figura 2. “Dibujo de Leonardo que representa la caída de agua desde un recipiente con cuatro alturas diferentes”

Fuente: Michelena, 1997, p.19.

Como podemos ver, la actividad experimental que se desprende del comportamiento de los líquidos en reposo y de los líquidos en movimiento es amplia e históricamente importante. La enseñanza de la hidráulica tradicional no reconoce estos aspectos y se limita únicamente a describir el principio de continuidad de forma matemática. trabajar con los estudiantes con canales, tubos, jeringas y demás aparatos e instrumentos posibilita mayor acercamiento a las problemáticas asociadas, muchas de ellas coincidentes con los estudios históricos registrados con diferentes alturas, profundidades, formas niveles, rugosidades y

demás aspectos que inciden, son importantes en el aula para promover un aprendizaje significativo y contextualizado.

c. El problema de la descarga y la resistencia

Sin lugar a dudas la descarga es un problema fundamental para la hidráulica, ya en el siglo XVII Castelli presenta un estudio más juicioso de la misma en el tratado titulado “Della misura dell’acque correnti”, aunque Newton ya se hacía preguntas orientadas por las fuerzas de resistencia de los líquidos. Con respecto al movimiento del agua en ríos y canales, Castelli analiza el caudal al realizar observaciones de las secciones de los ríos, evidenciando según se enuncia que:

Secciones del mismo río descargan cantidades iguales de agua en tiempos iguales, incluso si estas son desiguales.

Dadas dos secciones de un río, la proporción de la cantidad de agua que pasa por la primera sección a la que pasa por la segunda, es proporcional a la relación de la primera y segunda sección y a la relación de la primera y segunda velocidad.

Dadas dos secciones desiguales por las cuales pasan cantidades iguales de agua, las secciones son recíprocamente proporcionales a las velocidades. (Castelli, 1660).

Con este análisis Castelli logra establecer de cierta manera el principio de continuidad al considerar que la cantidad de fluido en un conducto cerrado debe permanecer constante. La actividad experimental asociada permite para la enseñanza de la hidráulica, estudiar recipientes con las mismas cantidades de agua, pero diferentes diámetros para la descarga, identificar los tiempos de descarga y relacionarlo con la velocidad de la descarga. También es posible estudiar y controlar secciones de tubos y canales. Con respecto a la problemática asociada a la resistencia que experimenta un cuerpo que se mueve en un fluido, muy relacionada con la descarga, Newton observa que la resistencia de un medio o líquido a ser penetrado es proporcional a la densidad del mismo. Newton introduce el concepto de tenacidad, el cual

describe como la característica de algunos fluidos que tienen cierta resistencia a fluir, lo que actualmente se conoce como viscosidad; estos trabajos sobre resistencia y viscosidad de fluidos constituyen las bases que fundamentan y contribuyen a la edificación de la hidráulica.

El estudio de la descarga implica magnitudes físicas relacionadas con el movimiento del líquido como velocidad, aceleración y fuerza, para ello Johan Bernoulli desarrolla actividades experimentales propias para la formalización.

d. El movimiento del agua en conductos cilíndricos.

Los principales aspectos de formalización están dados por Johan Bernoulli (1732) quien analiza en su obra las magnitudes de velocidad, fuerza y aceleración planteándose preguntas sobre la transición del fluido en tubos cilíndricos, teniendo en cuenta actividades experimentales en tubos horizontales, verticales y en forma de codo, tanto cuando el fluido está en reposo como cuando ya lleva un tiempo fluyendo, se cuestiona por la presión que experimenta la base de un conducto debido al líquido en movimiento.

Bernoulli escribe la base teórica de su obra las relaciona desde los conceptos de fuerza y aceleración, esta última es considerada por Johann como una fuerza, ya que la bautiza como fuerza de aceleración, y es la que imprime una velocidad a un cuerpo en un tiempo determinado; mientras que denomina como fuerza motriz a la que actúa en un cuerpo que está en movimiento o en reposo ocasionando que este se acelere, desacelere o cambie su dirección de movimiento. De esto se puede deducir que Johann considera que la fuerza siempre ocasiona una acción que modifica o genera el movimiento de un cuerpo.

Posteriormente enuncia la traslación, en la cual menciona que la presión que ejerce una capa sobre otra las cuales pueden desligarse entre sí y ser trasladadas a la superficie del fluido, el cual se refiere al principio de Pascal, en la cual una capa de fluido con área A_2 ejerce presión y el área de la superficie del fluido es A_1 , entonces bajo el principio de Pascal, se tiene que $F/P = A_1/A_2$ donde F es la fuerza sobre la superficie.

Esto evidencia que Johan demuestra que la altura está dada en términos de las áreas transversales de los tubos, por lo que nuevamente evidencia que la velocidad del líquido depende de las áreas transversales del conducto por donde circula. No obstante, si dichas áreas permanecen constantes se observa que la velocidad del líquido en el tubo horizontal es constante como lo establece la ley de continuidad.

A medida que el líquido se aleja de la garganta o de la transición de las áreas, se acelera hasta que alcanza una velocidad constante. Resultado que anteriormente se había supuesto a partir de la experimentación y la observación por parte de Da vinci y castelli, y que condujeron a la ley de continuidad.

Johan llega a la conclusión que, si el flujo de líquido permanece constante en el conducto, originando velocidades constantes tanto en el tubo ancho como en el más estrecho y la fuerza o presión P es la causante de que el líquido se acelere en la transición de los tubos, entonces es claro que la fuerza P se aplica únicamente para formar la garganta y mantenerla en su estado apropiado.

Bernoulli analiza situaciones en torno al flujo a través de tubos de diferente tamaño conectados horizontalmente, en forma de codo, inclinados y con orientación vertical, además estudia el flujo a través de tubos conectados de diferente tamaño, esto permite realizar un análisis completo de las distintas variaciones que pueden hacerse establecerse para cada situación, identificar los conceptos involucrados y las particularidades en problemáticas específicas.

En este sentido, se establece según Bernoulli que el principio de Pascal y la ley de continuidad son centrales en el estudio de la hidráulica, dando especial relevancia a las áreas transversales de los conductos siempre y cuando se excluya la viscosidad, la adhesión de líquido en las paredes, la fricción entre el líquido y la turbulencia.

Las situaciones analizadas por Johan en las figuras 3 y 4 lo llevaron a concluir que el estudio de tuberías con diferentes condiciones puede reducirse a casos simples permitiendo una comprensión del comportamiento del flujo del

líquido al realizar variación en ángulos, diámetros, número de tubos y cantidad de fluido de tal manera que como ocurrió con Bernoulli en la enseñanza aparezcan los conceptos de forma natural y sean útiles para cada contexto y situación, esto es, que la formalización o matematización del fenómeno tome relevancia y sea significativa en análisis.

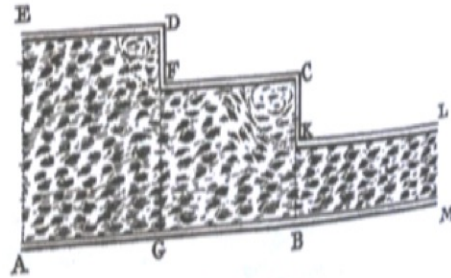


Figura 3. Flujo a través de tres tubos de diferente tamaño
Fuente: Bernoulli, 1732, p. 376

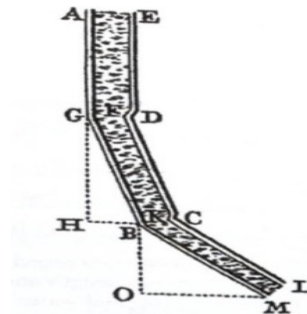


Figura 4. Flujo a través de tubos inclinados.
Fuente: Bernoulli, 1732, p.368.

5. Conclusiones y/o consideraciones finales

El análisis histórico de las actividades experimentales asociadas con la hidráulica, aporta principalmente en la transformación conceptual, en la construcción significativa de conocimiento, identificación de hechos e interpretaciones históricas que aparecen en los textos, favorecimiento en la selección de contenidos no desde los ejes temáticos sino de los elementos estructurantes de los fenómenos, reconocimiento de problemas históricos significativos; es así que en este caso particular,

una de las problemáticas que dieron origen a la hidráulica se denominan descarga y resistencia y evidencian el comportamiento del movimiento de los líquidos y los cuerpos sumergidos en un fluido en movimiento, esto, a través del estudio del agua en conductos cilíndricos pero que genera dificultades y confusiones en la enseñanza ya que en la obra original el tratamiento posee un alto contenido teórico y formal.

Por esta razón, el análisis histórico de las actividades experimentales asociadas con la hidráulica, desde planteamientos que orientan una práctica reflexiva de los científicos en la historia, permite que a través de sus pensamientos, obstáculos, diálogos con otros expertos de la época propiciar la construcción de conocimiento significativo y a partir de este análisis comprender que la presión aparece como un elemento estructural el cual se encuentra en la base del problema y a partir de allí elementos como continuidad, velocidad que se asocia al movimiento, caudal para comprender densidades y entender por qué fueron significativos, por qué se abordaron histórica y experimentalmente y dar sentido al fenómeno al recorrer el contexto histórico preliminar desde Arquímedes en la hidrostática, las actividades de Galileo y Torricelli empleando tubos, las de Leonardo Da Vinci que se generaron a partir de sus análisis de los ríos y caudales y finalmente llegar a la tesis de los Bernoulli, cuyo tratamiento estuvo dado en el orden de la matemática pero definido por un comportamiento experimental de los fluidos, en este sentido, los conceptos estructurantes, las actividades experimentales que subyacen de ellos y el carácter histórico filosófico implica un acto superior a narrar los sucesos, a describir lo que el científico hizo sino establecer qué se preguntó, por qué lo hizo, cuáles fueron las preocupaciones; para ello, se requiere poner en juego la forma como se observa el mundo, cómo se formalizan las experiencias, cómo la hidráulica ha logrado llegar a consolidarse en la historia, desde el nacimiento de la hidrostática con Pascal, el cuestionamiento de los cuerpos que se hunden y

flotan en un fluido a través de Arquímedes y cómo lo que se refiere a la característica fundamental de los fluidos en reposo se involucra con la presión, cómo se relacionan esta con la continuidad, la energía, la velocidad, las características de la tubería y la variaciones que han ocurrido a través de la historia desde los textos originales y cómo se han enriquecido los conceptos en relación con los avances, los nuevos problemas, las nuevas preguntas y cómo estas se modifican en los contextos particulares donde se involucra la formación cultural e integral.

Finalmente, la filosofía historicista en la problemática de la hidráulica permite el análisis de las teorías y las actividades experimentales que como menciona Estany (2007) se reorienta esta última haciendo un diseño propio de situaciones problema a través de los hallazgos que se hagan de los análisis histórico- filosóficos y la caracterización del fenómeno en estudio para luego establecer cómo los episodios históricos logran identificar personajes, actividades experimentales, procedimientos, materiales y explicaciones que entren en confrontación con aquellas que se han estabilizado y heredado y se ajusten a los nuevos requerimientos del mundo actual y se reestructure la construcción de conocimiento en ciencias siendo necesario establecer un punto de inflexión de la estandarización de la física, la relación entre teoría y práctica y los esquemas de enseñanza más allá de experimentos demostrativos sino pensarlos y construirlos donde su papel sea generar conocimiento, pensar el fenómeno, generar formular a problemáticas actuales que dinamicen el aprendizaje e incentivar la curiosidad por la ciencia y la comprensión del mundo para transformarlo; todo esto, a través de la re contextualización de los episodios y problemáticas fundamentales, para ello, se requiere lograr organizar y construir experiencia para ampliar la visión sobre la hidráulica para que los docentes tengan elementos renovadores sobre su quehacer educativo no siguiendo un manual o una lista de pasos para llevar a cabo su labor sino que

reflexionen sobre ella y transformen críticamente la enseñanza.

6. Referencias

- ADURIZ BRAVO, A; IZQUIERDO- AYMERICH, M Y ESTANY, A. **Una propuesta para estructurar la enseñanza de la filosofía de la ciencia para el profesorado de ciencias en formación. Enseñanza de Ciencias.** 2002. 20(3), 465-476.
- ARCHIMEDES. **The works of Archimedes.** Edited Thomas Little Heath, Cambridge. 1897.
- BERNOULLI, J. **Hydraulics. En: Hydrodynamics by Daniel Bernoulli & Hydraulics by Johann Bernoulli** (Thomas Carmody y Helmut Kobus, tras.)1732. pp. 343 – 451. New York: Dover Publications.
- CASTELLI, B. **Delle misura dell' acque correnti.** Bologna: HH del Dozza. 1660.
- CHAMIZO, J. **La historia de la ciencia: un tema pendiente en la educación latinoamericana. Aportes para una nueva aula de ciencias, promotora de ciudadanía y valores.** En M. Quintanilla, S. Daza, & H. G. Cabrera (Eds.), *Historia y Filosofía de la Ciencia.* 2014. Primera ed., pp. 77–100. Santiago de Chile: Bellaterra.
- D' ALEMBERT. **Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts, des arts et des métiers.** Genève: chez Pellet. 1778.
- ESTANY, A. **Innovación tecnológica y tradiciones experimentales desde una perspectiva cognitiva. Ciencias.** 2007. (088), 34–45.
- FERNANDEZ, I; GIL, D; CARRASCOSA, J; CACHAPUZ, A. **Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. Enseñanza de Ciencias.** 2002. 20(3), pp. 477–488. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/dcart?info=link&codigo=280954&orden=23803>
- FERREIROS, J; & ORDOÑEZ, J. **Hacia una filosofía de la experimentación. Crítica: Revista Hispanoamericana de Filosofía.** 2002. 34(102), pp. 47–86.
- FRASER, D; PILLAY, R., TJATINDI, L.; CASE, J. **Enhancing the Learning of Fluid Mechanics Using Computer Simulations. Journal Of Engineering Education.** 2007. 96 (4), pp. 381 – 388.
- GALILEI, G. **Diálogos acerca de dos nuevas ciencias** (José San Roman Villasante, trad). Bueno Aires: Editorial Losada. 1945
- GARCÍA, E. G. **Construcción de conocimiento en torno a las ciencias naturales. Universidad del Valle. Instituto de Educación y Pedagogía.** Cali: Colombia, 2006.
- GARCÍA, E. G. **Historia de las ciencias en textos para la enseñanza neumática e hidrostática: perspectivas socioculturales.** Colombia: Programa Editorial Universidad del Valle. Cali. Colombia. 2009.
- GARCÍA, A; IZQUIERDO, M. **Contribución de la Historia de las Ciencias al desarrollo profesional de docentes universitarios. Enseñanza de Ciencias.** 2014. pp. 265-281.
- GARCÍA, E. & ESTANY, A. **Filosofía de las prácticas experimentales y enseñanza de las ciencias.** Praxis Filosófica U.del Valle Ed. Colombia. 2010.
- HACKING, I. **Representing and intervening: Introductory topics in the philosophy of natural science.** Cambridge University Press. Cambridge. 1983
- HOMSY, G. M. **Multimedia fluid mechanics. American Society for Engineering Education Annual Conference and Exposition.** American Society for Engineering Education. Albuquerque, New Mexico. 2001
- IZQUIERDO, M. AUDURIZ, A y QUINTANILLA, M. **Investigar en la enseñanza de la química, nuevos horizontes; contextualizar y modelizar. Discusión en torno a un modelo para introducir la historia de la ciencia en la formación inicial del profesorado de ciencias.** Capítulo del libro. Editorial UAB. Barcelona. 2007.
- KUHN, T. S. **The structure of scientific revolutions** (Primera ed.). Chicago: The University of Chicago. 1962.
- MATTHEWS, M. **Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual. Enseñanza de Ciencias,** 12(2), 255–277. 1994.
- MICHELENA, S. E. **Apuntes sobre los dibujos hidráulicos de Leonardo Da Vinci.** Caracas: HIDROVEN. 1997
- PASCAL, B. **The physical treatises of Pascal: The equilibrium of liquids and the weight of the mass of the air** (Alexander e Isodere Spiers, trans). New York: Octagon Books. 1973
- PASCAL, B. **Traitez de l'équilibre des liqueurs de la pesanteur de la masse de l'air.** Paris. chez Guillaume Desprez. 1663.
- PICKERING, A. **From Science as Knowledge to Science as Practice.** Science as Practice and

Culture. Chicago: The University of Chicago Press. 1992.

- QUINTANILLA, M. **La historia de la química y sus contribuciones a una nueva cultura de la enseñanza de las ciencias.** En J. Chamizo, Historia y filosofía de la química. Aportes para la enseñanza. México. 2010. pp. 15-39
- ROUSE, H. e INCE, S. **History of hydraulics.** USA, Iowa: Institute of Hydraulic Research, State University of Iowa. 1957
- RUIZ, J. C. **Alternativa metodológica para la**

formación integral de los estudiantes desde el proceso de enseñanza-aprendizaje de la física.

(Tesis Doctorado en Ciencias Pedagógicas), Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte y Loynáz, Camagüey. 2005 recuperado de: <http://www.eumed.net/tesis-doctorales/2011/jcrm/ficha.htm>.

- STEINLE, F. **Challenging established concept ampere and exploratory experimentation.** Revista Theoria, V. 17 No 44. 2002.

