

Estudios históricos sobre hidrodinámica: Aportes culturales para la enseñanza de la física

Línea temática: Historia, Filosofía y Enseñanza de las ciencias

Modalidad: Simposio

Edwin García

edwin.garcia@correounivalle.edu.com

Universidad del Valle. Colombia

Coordinador: Mario Quintanilla Gatica

Resumen

El presente trabajo responde a problemas asociados con la enseñanza y aprendizaje de la física que implican la pregunta sobre ¿qué física enseñar hoy en día? pues los contenidos que tradicionalmente se imparten dejan por fuera aportes fundamentales de la fenomenología que enriquece la comprensión y el aprendizaje. La hidrodinámica como campo de la física que estudia el comportamiento de los fluidos, presenta desde el punto de vista histórico una importante fenomenología que no suele ser reconocida por los profesores, ni por los programas de formación. Generalmente su enseñanza es limitada a temáticas fundamentales como fluido, presión, ley de la continuidad y principio de Bernoulli; temáticas que si bien hacen parte de las bases de la hidráulica, el modo en que son enseñadas moviliza procesos de memorización y aplicación de algoritmos para solución de situaciones problema, ignorando la incidencia que la hidráulica en la vida cotidiana. Lo que aquí se presenta, es un estudio histórico con fines educativos desde enfoques culturales sobre los fenómenos asociados a la hidráulica y el papel de la actividad experimental, el uso de instrumentos para medir el movimiento del agua y los procesos de formalización asociados. De dicho estudio, se derivan implicaciones para la enseñanza de la física por parte de profesores comprometidos con las problemáticas socioculturales y de contexto en torno a la hidráulica.

Palabras clave

Hidráulica, Actividad experimental, historia de las ciencias, formalización y enseñanza

Objetivo general

Realizar un estudio histórico de la actividad experimental en torno a la hidráulica para promover una enseñanza contextualizada

Historia y enseñanza contextualizada de la ciencia

Hacer estudios históricos sobre el conocimiento científico no es nuevo, muchos historiadores ya muestran aportes importantes, pero estudios que recuperen la historia desde problemáticas con una orientación pedagógica y una didáctica contextualizada no son fáciles de encontrar (Izquierdo, M. Auduriz, A y Quintanilla, M. 2007).

La historiografía actual, brinda orientaciones y enfoques diferentes para la comprensión de la ciencia, aunque algunas de ellas poco son reconocidas aún en la didáctica de las ciencias. Para Echeverría (2003) los estudios sociales de la ciencia, presentan nuevos aportes desde el punto de vista de la construcción cultural que ha tenido el conocimiento y que reconocen que la genealogía de las teorías tiene profundas raíces en la fenomenología que las orienta. Entender la ciencia como una actividad humana y cultural, permite considerar que el conocimiento es una construcción que se valida y se legitima socialmente. Historiadoras como Stenger (1989), nos advierte que las leyes y teorías responden a un proceso de elaboración que depende del contexto sociocultural en el que surgen y los hechos son construcciones que representan verdades relativas e inherentes a los contextos que los producen, constituyendo un nuevo sentido de realidad. El propio Einstein e Infeld (1939) en sus contribuciones a la ciencia lo reafirman. *“...Durante la segunda mitad del siglo XIX se introdujeron en la física ideas nuevas y revolucionarias que abrieron el camino a un nuevo punto de vista filosófico, distinto del anterior mecanicista. Los resultados de los trabajos de Faraday, Maxwell y Hertz condujeron al desarrollo de la Física moderna, a la creación de nuevos conceptos que constituyeron una nueva imagen de realidad.”* Esta perspectiva de “nueva imagen de la realidad” es una invitación para ver con otros ojos los fenómenos de la naturaleza. Desde este enfoque la naturaleza deja de ser exterior y sus leyes objetivas y pasa a ser parte de una relación mutua con el observador, en este sentido el hombre es quien construye la realidad y las leyes resultan ser modelos y elaboraciones que responden a los interrogantes que le hacemos a la naturaleza.

¿Qué física enseñar?

Son variadas las investigaciones en las últimas décadas que abordan el problema del ¿qué enseñar en ciencias? (Rué 2002) (Duschl, 1997) (Izquierdo, 2005) (García E G, 2018). Pregunta que va ligada a un tema de la selección de contenidos para la enseñanza. Avanzar en una respuesta a este problema implica revisar el papel de la historia de las ciencias y su incidencia en la concepción de ciencia que orientan los profesores en sus clases. Cuando la ciencia es considerada como el resultado mismo de la investigación científica, entonces, las leyes o principios se hacen universales y por lo tanto independientes de quienes las producen, de las polémicas que dan lugar a los mismos y de los intereses a los que responden, en fin, de los contextos de su producción y validación. Kuhn (1962) ya cuestiona este enfoque, los libros de texto tergiversan el sentido de la historia y hacen que se maneje una imagen de ciencia como una constelación de hechos, teorías y métodos que no se corresponden con las preocupaciones e intereses que han movido el conocimiento científico a lo largo de su desarrollo. Al respecto dice: *“...Es inevitable que la finalidad de esos libros sea persuasiva y pedagógica; un concepto de la ciencia que se obtenga de ellos no tendrá más probabilidad que ajustarse al ideal que los produjo, que la imagen que pueda obtenerse de una cultura nacional mediante un folleto turístico o un texto para el aprendizaje de un idioma.* Aprender historia de las ciencias de esta forma se convierte entonces en un ejercicio de aprendizaje memorístico y acumulativo de información que no genera un concepto significativo de ciencia, ya que desconoce aspectos relevantes de la actividad científica como tal. Por eso propone que: *“Los nuevos historiadores y*

textos que hacen uso de la historia, comiencen a plantear nuevos tipos de preguntas y a trazar líneas diferentes de desarrollo para las ciencias en las que no se tenga en cuenta lo acumulativo”(1962. P. 32)

Importancia de los Originales en la Didáctica

En respuesta a la propuesta de Kuhn, hemos encontrado en las orientaciones de la nueva filosofía de la práctica experimental (Hacking, 1983) que ésta permiten ver con nuevos ojos los viejos problemas e identificar nuevos problemas, como de hecho lo hacemos aquí. El recurso de los textos originales cobra nueva importancia, Kuhn (1962) considera que *“los textos originales, considerados dentro del contexto cultural y científico en el que fueron producidos, permiten entender los problemas que originalmente motivaron la elaboración de un conocimiento particular. Pueden permitir, además, un acercamiento al proceso que hizo surgir lo nuevo a partir de la situación problemática y, en ocasiones, de las contradicciones y del debate agudo entre posiciones contrapuestas....”* Desde esta perspectiva es posible entonces revisar los textos y documentos originales de los científicos que han aportado al establecimiento de la ciencia. En nuestro caso los fenómenos asociados a la hidráulica y la hidrodinámica.

El uso de escritos originales para la didáctica de las ciencias tiene una connotación importante; no se pretende hacer historia de las ciencias ni remplazar el papel del historiador, solamente se quiere identificar en los escritos originales elementos que aporten a la construcción de significados en torno a los fenómenos estudiados. En este sentido se identifican las problemáticas e intereses de los científicos al realizar sus experimentos y plantear sus explicaciones o modelos teóricos, luego se hace una recontextualización de dicho conocimiento de acuerdo a las necesidades del aula en un contexto sociocultural.

De acuerdo con García (2018) el retorno a las fuentes puede ayudar a entender, *“en primer lugar, que los conceptos y fenómenos que finalmente fueron seleccionados históricamente tuvieron una génesis y un proceso de desarrollo”*. Comprender este proceso permite enriquecer el concepto, flexibilizar y sugerir nuevos significados y relaciones. Permite reconocer que el significado del concepto nunca se agota y que toda decantación es por eso provisional. En segundo lugar, *“los textos originales, considerados dentro del contexto cultural y científico en el que fueron producidos, permiten entender los problemas que originalmente motivaron la elaboración de un conocimiento particular”*. Pueden permitir, además, un acercamiento al proceso que hizo surgir lo nuevo a partir de la situación problemática y, en ocasiones, de las contradicciones y del debate agudo entre posiciones contrapuestas. Y, en tercer lugar, el recurso a la historia de las ciencias desde los textos originales es, con frecuencia *“la única manera de responder adecuadamente a preguntas que se suelen hacer los estudiantes sobre el origen y la fundamentación de principios básicos de la física”*. Finalmente, el recurso a los textos originales permite entender, por comparación, los procesos de recontextualización que se operan en los libros de texto. Es decir, resulta posible tomar conciencia de los cambios en el significado de los conceptos y en su articulación respectiva, de las transformaciones en la formulación de los

problemas, en el lenguaje, en las formas de argumentación y en los criterios de coherencia y de rigor...

Para el presente artículo se presenta, solamente parte del análisis histórico-crítico de los escritos originales de algunos científicos que han aportado al conocimiento de la hidráulica y cuyas problemáticas resultan significativas para nuestra organización del fenómeno particularmente el trabajo de J. Bernoulli en su libro “Hydraulics” (Tovar 2017). Se destaca de ellos, las experiencias que fundamentaron sus propuestas y se recogen los elementos que de este análisis aportan a la construcción fenomenológica de explicaciones.

Metodología

La investigación se basó en tres momentos claves para su desarrollo: Uno, recoger y analizar la documentación histórica sobre la hidráulica. Dos, recoger y analizar información de los libros de texto de física general sobre enseñanza de la hidrodinámica. Y tres, identificar y analizar las explicaciones de los estudiantes sobre fenómenos hidráulicos. Para este artículo, como resultados solamente presentamos el estudio histórico, para responder a la pregunta ¿Qué física (hidráulica) enseñar?

La manera de obtener la información histórica se hizo a través del análisis histórico – crítico. Esto es, identificar y analizar episodios históricos en los que se destaca una problemática importante desde el punto de vista de la didáctica, esta problemática puede estar en la experimentación o en la construcción fenomenológica de la hidráulica. Para ello se hizo una selección de artículos y libros originales de los científicos que de acuerdo con los historiadores de la ciencia aportaron al desarrollo de la hidrodinámica. Se aprecia que, en la historia de la ciencia se encuentran miles y miles de experimentos y cientos de científicos e investigadores. Para seleccionar un cierto número de ellos, muy reducido, se debe tener una intención muy clara (Harré 1986). Lo que se pretende con la selección realizada es construir una manera particular de organizar la hidráulica fenomenológica que sea significativa y didácticamente útil. Arquímedes, Da Vinci, Galileo, Torricelli, Castelli, Mariotte, Pascal, Newton y J. Bernoulli, empiezan a construir los cimientos que conformarían el edificio de la hidráulica; retomando, contradiciendo, demostrando y reformulando ideas de sus antecesores, empleando elementos propios de las matemáticas y la investigación científica que permitirían obtener resultados cada vez más sólidos y veraces frente la mecánica de fluidos.

Resultados

Podemos identificar las problemáticas históricas seleccionadas en un campo amplio de fenomenologías que van desde el comportamiento de los líquidos (fluidos) en reposo y en movimiento hasta los procesos de formalización. De la siguiente manera:

1. Sobre los fluidos en equilibrio
2. Sobre los chorros de agua y la caída de los cuerpos
3. Sobre el transporte del agua por canales y sistemas abiertos

4. El problema de la medida de la fuerza, la descarga y la resistencia
5. La formalización de la hidráulica

Fluidos en equilibrio: El problema del equilibrio de los líquidos es muy antiguo, así como también, la necesidad de transportar agua de un lugar a otro. Algunos historiadores suelen ubicar a Arquímedes como el padre de la física experimental, por sus aportes a la hidrostática. Pues, con Arquímedes y Hieron de Alejandría, se abre un campo de nuevas fenomenologías de experimentación y de formalización. ¿Por qué unos cuerpos flotan y otros se hunden? ¿Por qué algunos ofrecen resistencia a ser penetrados? Y, por qué hay una aparente pérdida de peso de un objeto sobre el agua? Arquímedes hace múltiples experimentos sobre flotabilidad, con muchos materiales, formas y tamaños, y en líquidos diferentes; se pregunta, cómo afecta la forma, el tamaño o el material el equilibrio? Pero, sobre estas preguntas nos caben otras que implican la problemática; ¿podemos afirmar con seguridad que los objetos pesados se hunden en el agua y los livianos flotan? ¿De qué manera el medio cambia la resistencia cuando cambian las condiciones del objeto que flota? (García 2006)

La pregunta por el medio (agua, aire, aceite, mercurio...) permite explorar sus propiedades y preguntar por las diferencias entre ellos ¿el aire y el agua son medios idénticos en sus propiedades? Es decir, si el agua hace resistencia, el aire también puede? Si el agua no es penetrable, el aire también? Y, ¿si el agua pesa, el aire también? Estas preguntas fueron importantes para Viviani, Torricelli y Boyle, quienes se preocuparon por demostrar el peso del aire y poner en evidencia el comportamiento de los líquidos en equilibrio. Según García (2009) los experimentos con el barómetro, la máquina de vacío y tubos en U, permitieron identificar que presión ejercida por los fluidos en condiciones de reposo actúa como un resorte, y el aire, en ese sentido es continuo y no discreto. Los fluidos tienen peso, ejercen presión, presentan resistencia y se equilibran entre sí en proporciones definidas.

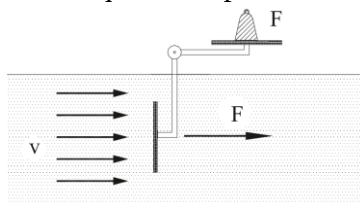
Chorros de agua y caída de los cuerpos: El estudio de la caída de los cuerpos por parte de Galileo permitió problematizar la caída del agua. Como es la caída del agua para diferentes alturas? Preguntas que se amplían también a la trayectoria que sigue un chorro de agua a través de un orificio. ¿Si la altura cambia, también lo hace la presión con la que sale el chorro? Se encuentra que a mayor profundidad mayor es alcance horizontal y por lo tanto la velocidad de salida. Los experimentos de Leonardo Da Vinci apoyados en Galileo, con líquidos a diferentes alturas, muestran la preocupación por el registro y la medida, llegando a caracterizar la relación entre la altura de caída y la velocidad del chorro.

Canales de agua y sistemas abiertos: Respecto al análisis de los ríos, Da Vinci (en Rouse e Ince, 1957) afirma que *“el agua de los ríos rectos es más rápida cuanto más lejos está de las paredes, debido a las resistencias”*, y es poca la resistencia que proporciona el aire comparada con la de la tierra o la del material del canal, el agua que transita tanto en un canal como en un río se mueve más rápido en la superficie que en el fondo. Problemática que se ha tenido en cuenta para el diseño de los canales, incluso hoy en día. 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, la pendiente, la rugosidad, la tortuosidad. Y 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*. Afirmaciones, que como se puede notar no son más que una anticipación,

aunque de forma cualitativa, de la actual *Ley de la Continuidad*, que sería establecida más de un siglo después.

Descarga y Resistencia: El amplio conocimiento que tenía Castelli acerca del flujo de agua por los ríos, canales y tuberías, lo llevo a ser consejero de obras hidráulicas en algunas provincias italianas, por lo que su estudio estaba presente en la construcción de puentes, canales para la irrigación de cultivos, desviaciones y nivelaciones de ríos. Especialmente, la construcción de canales para el riego de cultivos de propiedad privada, le implicaba un costo al propietario por el caudal que transitaría por dichos canales, por lo que era importante construir canales con las medidas adecuadas para obtener el caudal deseado. Según Castelli (en Rouse e Ince, 1957), en sus investigaciones y experimentaciones notó que para medir el caudal de un canal o de un río, no basta con medir solamente el área transversal de estos sino que también es necesario conocer la velocidad con la que circula el agua en dichas áreas. Estos conocimientos fueron presentados por Castelli en su tratado titulado *Della misura dell'acque correnti*, en tres proposiciones en las que sostiene que “*Secciones del mismo río descargan cantidades iguales de agua en tiempos iguales, incluso si las secciones mismas 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*” y “*Dadas dos secciones desiguales por las cuales pasan cantidades iguales de agua, las secciones son recíprocamente proporcionales a las velocidades*” Sin duda, estas afirmaciones son similares a las que había declarado Leonardo Da Vinci en su análisis sobre el movimiento de agua en canales y ríos; sin embargo, lo más probable es que Castelli haya descubierto este principio de forma independiente.

Formalización de la hidráulica: Mariotte considerado como el padre del método experimental en Francia, se cuestiona sobre cómo es que el agua o el aire hacen mover las paletas de un molino y cómo la velocidad con la que estos se mueven influye en dicho movimiento. Primero, comienza con experimentaciones en los ríos con el fin de medir la fuerza que ejercen sobre las paletas de las ruedas hidráulicas y cómo varía esta con la velocidad del río, para esto, diseña una especie de balanza, que posee una palanca en uno de los brazos que es introducida al río, mientras que en el otro brazo se ubicaba el peso que equilibraba la fuerza que experimenta la placa (Figura); así, con el equilibrio de fuerzas lograba medir la fuerza que ejercía el río sobre la palanca. Así mismo, introduciendo al río flotadores separados una cierta distancia y enlazados entre sí, observó que el río posee una mayor rapidez en la superficie, la cual disminuye a medida que se acerca al fondo o a las orillas, lo que también sucedía con la magnitud de la fuerza; por lo que afirma que las aspas de un molino experimentan una fuerza de proporción directa a la velocidad con la que fluye el río (Rouse e Ince, 1957).



Newton, que no es ajeno a la hidráulica, se aventura a indagar respecto a la problemática asociada con la resistencia que experimenta un cuerpo que se mueve en un fluido, aunque, primero afirma que es equivalente que un cuerpo se mueva en un fluido en reposo a que el cuerpo esté en reposo y sea el fluido el que esté en movimiento. Para

esto, realiza varios experimentos con péndulos de esferas, los cuales hace oscilar en aire, agua y mercurio, igualmente estudia la caída libre de esferas en dichos medios. Newton observa que la resistencia es proporcional a la densidad de los medios.

Por su parte J. Bernoulli (1968) seguidor de la mecánica newtoniana, se procura formalizar (matematizar) el estudio de la descarga, ya que ello implica magnitudes físicas básicas relacionadas con el movimiento de un líquido como velocidad, aceleración y fuerza, las cuales sin excepción analiza en su obra, preguntándose ¿cómo es la velocidad del líquido antes, durante y después de la transición por áreas transversales en tubos cilíndricos? Si el cambio, se debe a una aceleración del líquido, entonces y de acuerdo con la segunda ley del movimiento de Newton debe ser ocasionada por una fuerza que actúa uniformemente sobre la área transversal del líquido; incluso adiciona una cuestión más en la que se pregunta por la presión que experimenta la base de un conducto debido al líquido en movimiento. Todo esto se lo pregunta cuando la descarga del líquido es a través de dos tubos conectados de forma horizontal y en forma de codo, tanto cuando el líquido parte del reposo como cuando este ya lleva un tiempo fluyendo. Inclusive, expande dicho análisis al cuestionarse ¿Cómo cambia el comportamiento del fluido si hay más de dos tubos conectados? Bernoulli, expone las definiciones o lemas que constituyen la base teórica de su obra, los cuales recopila tanto de la dinámica como de la hidrostática. Las primeras dos definiciones están relacionadas con 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.

Luego, introduce una definición esencial. En esta, menciona que la presión que ejerce una capa sobre otra puede ser desligada de esta última y ser trasladada a la superficie del fluido, proceso al que denomina *Traslación*, que aunque es poco explicitado, no es más que el *Principio de Pascal*. Si una capa de fluido con área A_2 ejerce una presión P y el área de la superficie del fluido es A_1 , entonces de acuerdo con el *Principio de Pascal* o proceso de *traslación* se tiene que $\frac{F}{P} = \frac{A_1}{A_2}$, donde F es la fuerza sobre la superficie, lo que implica que $F = \frac{A_1}{A_2} P$.

Conclusiones

Se evidencia la imperiosa necesidad de indagar acerca de nuevos elementos que contribuyan al mejoramiento de la enseñanza de la física; elementos cuyo índole puede variar de acuerdo al área de investigación en que se sitúen, entre estos, la historia y epistemología de la física. Razón por la cual, es importante escudriñar en la historia de la hidráulica desde sus primeros visos hasta mediados del siglo XVIII, analizando los trabajos que llevaron a cabo algunos de los célebres pensadores que aportaron al desarrollo de esta rama de la física; para determinar así, las distintas problemáticas que condujeron a su establecimiento como disciplina científica. Problemáticas que pueden ser estudiadas y contextualizadas por los docentes de física para potenciar sus procesos de enseñanza.

Bibliografía

Bernoulli J. (1968). Hydraulics. En: *Hydrodynamics by Daniel Bernoulli & Hydraulics by Johann Bernoulli* (Thomas Carmody y Helmut Kobus, tras.) (pp. 343 – 451). New York: Dover Publications.

Duschl, R. (1997) Renovar la enseñanza de las ciencias. Importancia de las teorías y su desarrollo. Editorial Narcea. Madrid.

Echeverría, J. (2003) Introducción a la metodología de la ciencia. La filosofía de la ciencia en el siglo XX. Editorial Cátedra. Madrid.

Einstein, A y Infeld, L. (1939) La física aventura del pensamiento. Editorial Biblioteca de obras maestras del pensamiento. Editorial Lozada. Buenos Aires.

García, E. G y otros (2006) construcción de conocimiento en torno a las ciencias naturales. Universidad del Valle. Instituto de Educación y Pedagogía. Cali.

García, E. G. (2009). Historia de las ciencias en textos para la enseñanza neumática e hidrostática: perspectivas socioculturales. Colombia: Programa Editorial Universidad del Valle.

García, E. G. (2018). La actividad experimental en electrostática. Aportes históricos para la didáctica de la Física. Colombia: Programa Editorial Universidad del Valle.

Hacking, I (1983) Representing and intervening: Introductory topics in the philosophy of natural science. Cambridge University Press. Cambridge.

Harré, R. (1986) Grandes Experimentos Científicos: Faraday, la identidad de todas las formas de electricidad. Editorial Labor. Barcelona.

Izquierdo, M. (2005) Hacia una teoría de los contenidos escolares. Revista Enseñanza de las Ciencias. 23 (1), 111-122.

Izquierdo, M. Auduriz, A y Quintanilla, M. (2007) 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.

Kuhn, T. (1962) La estructura de las revoluciones científicas. Ediciones del Fondo de Cultura Económica, Breviarios. México.

Rouse, H. e Ince, S. (1957). *History of hydraulics*. USA, Iowa: Institute of Hydraulic Research, State University of Iowa.

Rue, J. (2002) Que enseñar y por qué. Editorial Paidós. Barcelona.

Stengers, I (1989) Les Concepts scientifiques: invention et pouvoir. Editorial La découverte. Paris.



Revista *Bio-grafía*. Escritos sobre la Biología y su enseñanza. Año 2021; Número **Extraordinario**. ISSN 2619-3531. *Memorias V Congreso Latinoamericano de Investigación en Didáctica de las Ciencias*. 23 y 24 de septiembre de 2021. Modalidad virtual.

Tovar, J. C (2017) Aportes para la enseñanza de la hidráulica. Un análisis histórico de J. Bernoulli, Trabajo de grado. Universidad del Valle.