

Rollos nacionales





Autora: Laura Gómez Unda
Título: En el corazón del mundo
Lugar: Ciudad perdida

La historia de las ciencias naturales y exactas en la enseñanza de las ciencias: Galileo y Arquímedes



Volumen 5 N.º 43
julio - diciembre de 2017
ISSN: 0122-4328
ISSN-E: 2619-6069
pp. 35-46

The History of
Natural and Exact
Sciences in Teaching
Science: Galileo and
Archimedes

A história das
ciências naturais e
exatas no ensino das
ciências: Galileu e
Arquimedes

Erik Donaldo Lambraño García*

Fecha de recepción: 21-03-2017

Fecha de aprobación: 11-12-2017

PARA CITAR ESTE ARTÍCULO

Lambrano, E. (2017). La historia de las ciencias naturales y exactas en la enseñanza de las ciencias: Galileo y Arquímedes. *Nodos y Nudos*, 5(43), 35-46.

* Magíster en Ciencias Matemáticas de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Maestro de la Institución Educativa Pío XII, Salamina, Caldas. edlambranog@unal.edu.co



Volumen 5 N.º 43
 julio - diciembre de 2017
 ISSN: 0122-4328
 ISSN-E: 2619-6069
 pp. 35-46

RESUMEN

A pesar del creciente número de investigaciones orientadas a la creación de estrategias para mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje y transformar permanentemente los currículos, los resultados aún son desalentadores: Colombia ocupó el puesto 57 entre 72 países en las pruebas Pisa 2015 en el área de ciencias. La articulación de los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias exactas y naturales y la historia de las ciencias permite presentar las ciencias naturales como un cuerpo de conocimientos en evolución, lo que contribuye a alcanzar un aprendizaje significativo. El presente trabajo constituye una reflexión sobre la importancia de la historia de las ciencias naturales y exactas en los procesos de enseñanza y aprendizaje y la forma como podemos abordar la articulación de estos elementos. Observamos que esta articulación puede llegar a integrar en la enseñanza de las ciencias básicas conceptos que tienen lugar en las ciencias humanas, como la ética. Se presenta además un ejemplo claro de la articulación de los conceptos de masa, peso, volumen, densidad (peso específico) y proporciones –temáticas presentes en las áreas de matemáticas, física y química– con un hecho histórico que las relaciona: en la costa sudeste de la isla de Sicilia, en el siglo II a. C. sucedió una anécdota que conecta a Arquímedes y a Galileo, protagonistas del desarrollo científico que se separan en el tiempo por un poco más dieciocho siglos.

Palabras clave: ciencia; historia; enseñanza; aprendizaje

ABSTRACT

Despite the growing number of research aimed at creating strategies to improve teaching and learning processes and to permanently transform curricula, the results continue to be disappointing: Colombia ranked 57 out of 72 countries in the Pisa 2015 tests in the area of sciences. The articulation of the teaching and learning processes of natural and exact sciences and the history of sciences allows us to present the natural sciences as an evolving body of knowledge, which contributes to achieving meaningful learning. The present work is a reflection on the importance of the history of natural and exact sciences in teaching and learning processes and the way we can approach the articulation of these elements. We observe that this articulation can integrate, in the teaching of basic sciences, concepts that take place in the human sciences, such as ethics. It also presents a clear example of the articulation of the concepts of mass, weight, volume, density (specific weight), and proportions—subjects present in the areas of mathematics, physics and chemistry—with a historical fact that links them together: an anecdote from the 2nd century BC in the Southeast coast of the island of Sicily that connects Archimedes and Galileo, both protagonists of the scientific development separated in time by a little over eighteen centuries.

Keywords: science; history; teaching; learning

RESUMO

Apesar do recente número de pesquisas norteadas para a criação de estratégias para melhorar os processos de ensino e aprendizagem, transformando permanentemente os círculos, os resultados ainda são desalentadores: Colômbia ficou na posição 57 de 72 nas provas Pisa 2015 em ciências. A articulação dos processos de ensino e aprendizagem das ciências exatas e naturais, assim como da história das ciências, permite apresentar as ciências naturais como um conjunto de conhecimentos em evolução, contribuindo assim para uma aprendizagem significativa. Este trabalho constitui uma reflexão sobre a importância da história das ciências sociais e exatas nos processos de ensino e aprendizagem, assim como a forma na que a articulação desses elementos pode ser abordada. Observamos que essa articulação poderia introduzir, no ensino das ciências básicas, conceitos presentes nas ciências humanas como a ética. Apresentamos, além disso, um exemplo claro da articulação dos conceitos de massa, peso, volume, densidade (peso específico) e proporções - temáticas presentes nas áreas de matemáticas, física e química- com um fato histórico que as relaciona: na costa sudeste da ilha de Sicília, no século II a.C, um acontecimento conecta a Galileu com Arquímedes, agentes do desenvolvimento científico, separados no tempo por mais de dezoito séculos.

Palavras-chave: ciência; história; ensino; aprendizagem

Introducción

Estudios realizados en países en vía de desarrollo demuestran que la inversión en educación es uno de los factores más importantes que contribuyen al desarrollo económico de una nación (Haddad, Carnoy, Rinaldi y Regel, 1990) y, en última instancia, a mejorar la calidad de vida de los ciudadanos. Por esta razón, la calidad educativa es un tema que cada vez cobra más protagonismo en América Latina y es uno de los indicadores para medir y comparar el desarrollo de las naciones latinoamericanas y del mundo.

Debemos mencionar que las pruebas estandarizadas para medir la calidad de la educación han sido analizadas de manera minuciosa. En esos análisis se han encontrado algunas limitaciones tanto en los índices de medición como en las conclusiones que se obtienen a partir de sus resultados (Gómez, 2004). A pesar de estos hallazgos, dichas pruebas son el único instrumento legal existente para medir la calidad de la educación en los países latinoamericanos y, a la luz de ellas, Colombia no arroja resultados alentadores en el área de ciencias básicas.

Los principales factores que contribuyen a esta situación son de diversa índole: acceso, equidad, sistema educativo centralizado, políticas que garanticen

condiciones laborales adecuadas para los docentes, entre otras (Ministerio de Educación Nacional, MEN, 2004). El presente trabajo busca iniciar una reflexión acerca de la importancia de la historia de las ciencias en los procesos de enseñanza, así como analizar posibles formas de abordar el diseño de estrategias para orientar procesos de enseñanza y aprendizaje en las ciencias naturales y exactas mediante su articulación con la historia de las ciencias.

La historia de las ciencias

Aunque no es nuestro objetivo reflexionar sobre los alcances, propósitos y métodos de la *disciplina histórica*, debemos tener claridad sobre el quehacer de un historiador, o al menos, lo que debemos entender por *historia* respecto de las ciencias naturales y exactas.

La historia es una de las disciplinas privilegiadas que se jacta de tener una musa, Clío, la primera de las hijas de Zeus, una mujer con una corona de laurel y un papiro en su mano izquierda (Sánchez, 2005). Esto significa que su importancia remonta a los tiempos del historiador Herodoto, razón por la que está a disposición del público general, a diferencia de lo que ocurre con otras disciplinas, como la física, la química o las matemáticas.

El primero en usar la palabra *historia* y definirla fue Herodoto: "la historia exhibe al hombre como un agente racional, es decir, que su función es en parte descubrir lo que el hombre ha hecho y en parte por qué lo ha hecho" (Sánchez, 2005, p. 7).

Así, es necesario aclarar que la enumeración de un conjunto de hechos, nombres, lugares y fechas no constituye una narración histórica (Windschuttle, 2008). Aunque esto parezca obvio, algunos científicos sociales aún trabajan para esclarecer la frontera que separa la narración literaria de la histórica y presentar las diferencias entre los dos tipos de narraciones.

La historia es una ciencia, de manera que el término *historia*, sustituye a la expresión *ciencia histórica*. Pero, ¿qué es la ciencia histórica?, ¿cuál es su objetivo? La historia tiene tres grandes objetivos, de acuerdo con Windschuttle (2008):

- » Registrar la verdad de lo que aconteció en el pasado.
- » Construir un "cuerpo de conocimientos sobre el pasado" (Windschuttle, 2008, p. 147).
- » "Estudiar las sociedades del pasado a través de una metodología disciplinar que emplea fuentes y técnicas accesibles a otros en su campo científico" (Windschuttle, 2008, p. 145).

Existen diversas definiciones de la historia como disciplina. En lo que sigue entenderemos por historia una "investigación sobre hechos acaecidos en el pasado". Así, el historiador tiene como propósito "conocer el pasado" para encontrar respuestas a "inquietudes presentes" (Sánchez, 2005, p. 54). En este sentido, la historia de las ciencias naturales y exactas es una disciplina de las ciencias sociales que se encarga de explicar el nacimiento y la evolución del conocimiento científico, así como los paradigmas bajo los cuales se ha construido, con el fin de responder cuestiones acerca de nuestro presente, el estado actual de las ciencias.

La historia de la ciencia en los procesos de enseñanza y aprendizaje

La articulación de la historia de la ciencia con los procesos de enseñanza se registra por primera vez en el año 1855 en Gran Bretaña (Matthews, 1994), aunque

desde entonces su incorporación ha sido irregular. Se afirma que "para comprender un concepto teórico es necesario comprender su desarrollo histórico" (Matthews, 1994, p. 257). De esta manera, se debe incorporar la investigación histórica a los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias, a menos que esta se considere como una serie de conceptos y reglas al margen del ser humano, lo que convierte la ciencia en un recetario que no requiere comprensión y estudio sino simple memorización.

A través de la historia también es posible conocer conceptos de otras disciplinas. Este es el caso del estudio de los números en los pitagóricos como una forma de purificar el alma y prepararla para la eternidad.

Los números y el alma

Pitágoras de Samos (580-500 a. C.) funda en Croton la escuela que lo inmortaliza: la escuela pitagórica. Sin duda alguna esta se asocia principalmente al teorema que lleva su nombre, y que por su importancia ha sido calificado como "... un activo cultural de primer orden que pertenece a la base intelectual de la humanidad" (Artmann, 1996, pp. 57-58). No obstante, su nombre va más allá de las matemáticas.

Más que una escuela propiamente dicha, la escuela pitagórica era una hermandad con tendencias claramente filosóficas religiosas, cuyo objetivo principal era alcanzar una *renovación ética de la sociedad* (Zubkova, Nikolenko, Shtil, Vavulinay Antonov, 2009), a la que Pitágoras consideraba enferma y para la cual reclamaba la purificación de las ideas religiosas vigentes.

La historia nos enseña que los pitagóricos consideraban el alma como un ente inmortal. Esta idea era revolucionaria en la antigua Grecia, pues pensar en la inmortalidad del alma en los tiempos de Homero habría sido calificado de locura. Los pitagóricos también creían necesario preparar el alma para la eternidad, lo cual solo era posible a través del estudio de los números, sus propiedades y su relación con el cosmos (Cahori, 1985).

Tal vez fue esta concepción de las matemáticas, su vínculo con el ser humano, con el cosmos, lo que le permitió a Pitágoras elevar las matemáticas a la categoría de ciencia formal, digna de ser estudiada al margen de otras ciencias.



Autora: Laura Gómez Unda
Título: Colores en el bosque
Lugar: PNN Chingaza, Trogón hembra

Formalizar la articulación de la historia en la enseñanza

Si la historia permite mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias naturales y exactas, ¿de qué manera podemos realizar tal articulación? ¿Es posible definir un método que nos permita realizar la transposición didáctica de cualquier concepto o en cualquier disciplina con la historia como eje articulador? El carácter reflexivo de la ciencia histórica es precisamente el que nos permite conectar y contextualizar diferentes campos del conocimiento, y mostrar las ciencias como un cuerpo en continua evolución, pero es también el que imposibilita la creación de un algoritmo para construir prácticas pedagógicas con esta tendencia. Sin embargo, es posible definir algunos aspectos comunes que debemos tener presentes en la elaboración de una transposición didáctica.

Una incorporación y posterior articulación de la historia de las ciencias en el proceso de enseñanza y aprendizaje requiere, entre otras cosas:

- » Comprender que un proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias no consiste en presentar un "sistema de verdades acabado y ordenado, sin referencia al origen y propósito de sus conceptos y teorías tiene su encanto y satisface una necesidad filosófica" (González, 1991). Si bien la introducción de las ciencias básicas responde a una necesidad y encanto que solo percibe el estudiante de ciencias naturales y exactas, pero no el de educación básica, el estudiante ingeniería, economía o sociología –que espera encontrar un propósito, una aplicación clara o simplemente desea comprender la necesidad concreta de estudiar cada uno de los temas orientados–. Morris Kline, matemático estadounidense y autor de textos sobre electromagnetismo y óptica, manifiesta en su obra *Mathematics, A Cultural Approach* (1963): "The proofs of trigonometric identities are not important, but the fact that trigonometry has given man his understanding of heaven is significant" [Las demostraciones de las identidades trigonométricas no son importantes, pero el hecho de que la trigonometría le ha permitido al ser humano comprender el cielo, es significativo].

Algunos profesionales consideran innecesario ocuparse de la forma en que se enseñan estas ciencias, apelando a la escuela tradicional, es decir, a las *lectio*, siendo esta la escuela en la que se educaron algunos grandes pensadores, como Galileo, Newton, Maxwell y Einstein.

Es cierto que la cantidad de saberes acumulados hasta la actualidad imposibilita comprender en cinco años de estudio, además de los conceptos de las ciencias básicas, su proceso de evolución, historia y el vasto conocimiento que han dejado a su paso. Sin embargo, es posible escoger con sumo cuidado los apartes más importantes de las ciencias naturales y exactas que queremos perpetuar, e ilustrar la forma como evolucionaron algunos de estos conceptos hasta nuestros días.

- » Una vez comprendida esta dificultad debemos conocer las ventajas que trae consigo conocer la evolución de los conceptos. Una de ellas es poder vislumbrar una forma alternativa de presentar los hechos en matemáticas, pues al conocer los problemas que dieron lugar a estos descubrimientos tendremos una idea más clara de sus aplicaciones en otros campos de la ciencia.

Ahora bien, debemos pensar en la forma como transformaremos nuestro discurso, la forma como debemos orientar nuestras prácticas pedagógicas con el firme propósito de borrar el carácter estático que parecen poseer los conceptos presentes en las ciencias básicas.

Formación docente

Leer las obras de los primeros pensadores que dieron lugar a las teorías actuales, su biografía, esto es, la forma como construyeron dicho conocimiento, nos permite comprender, en primera instancia, el carácter dinámico de las ciencias y las dificultades con las que se enfrentaron algunos pensadores al proponer conceptos como los números enteros o los números imaginarios, debido a la poca o nula aceptación por parte de sus contemporáneos.

La lectura de obras cumbres se ha transformado en una tarea que generalmente se considera exclusiva de los historiadores, filósofos o expertos en educación.

La labor de autocrítica con nuestro quehacer docente también debe ser propia de los profesionales en ciencias naturales y exactas, pues son estos los llamados reconstruir este conocimiento en el aula de clase.

La brújula que oriente la creación de estrategias para los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias naturales y exactas debe ser el estudio y la comprensión de nuestro pasado. La historia de la ciencia, como la de cualquier disciplina, tiene sus aciertos y desaciertos, épocas de luz y épocas de oscuridad, avances y retrocesos, pero en cualquier caso pone de manifiesto el carácter dinámico y vivo de la actividad científica (González, 2004; Martínez y Chavarría, 2012), que en todas las épocas estimula la curiosidad por el conocer y nos enseña a valorar el conocimiento científico por cuanto da forma a la civilización.

El presente artículo es un intento por rescatar la importancia de la historia, así como las obras de los grandes pensadores de nuestra civilización, con el propósito de adquirir herramientas que nos permitan crear actividades que dinamicen nuestra labor docente en el campo de las ciencias básicas. También buscamos presentar ejemplos concretos de la construcción de conocimiento en la enseñanza de las ciencias naturales y exactas, como el que se encuentra a continuación.

Un ejemplo de la articulación de la historia y la enseñanza de las ciencias

A pesar de la claridad respecto a la necesidad de disciplina histórica en la enseñanza de las ciencias, su incorporación en la práctica pedagógica resulta compleja debido a la ausencia de ejemplos concretos documentados en las diferentes disciplinas. Por citar solo un caso, pensemos en la forma como se usa y enseña la tabla de periódica en los textos de química en las universidades brasileras del siglo xx (Leite y Porto, 2015): *analizando* los problemas que presentaba la tabla original, las predicciones de Mendeleiev sobre los elementos desconocidos o la organización inicial y su evolución.

Otros estudios van más allá de la articulación de la historia para vincular en la enseñanza de las ciencias *controversias histórico-filosóficas*, como la que tuvo

lugar en Francia en el siglo xix entre los físicos Biot y Ampère acerca de las diferentes interpretaciones del experimento de Oersted al estudiar la desviación de una aguja magnética por un conductor eléctrico (Braga Guerra y Reis, 2010). Este estudio fue incorporado en los programas de física del duodécimo grado en Brasil.

El método babilónico para resolver raíces cuadráticas se usa en octavo grado en Turquía como una alternativa metodológica para enriquecer los procesos de enseñanza y aprendizaje.

A continuación ilustraremos la forma como podemos articular conceptos presentes en las ciencias naturales y exactas (masa, peso, densidad, proporciones) mediante la reconstrucción de un episodio que tuvo lugar antes de la era cristiana con Arquímedes en Grecia, y que aproximadamente dieciocho siglos después Galileo revivió en Italia y reformuló. Su resultado fue publicado en 1586 en un artículo que tituló "La Bilancetta".

Arquímedes

El concepto de palanca nos resulta familiar a partir de los últimos años de la educación secundaria. Recordemos que dicho concepto se nos presenta asociado con el nombre de Arquímedes.

Arquímedes de Siracusa nació en el 287 a. C., y murió cerca del 212 a. C. Son pocos los datos que se tienen de su vida personal y los métodos usados para alcanzar los descubrimientos e inventos que se le atribuyen, entre ellos la palanca.

La palanca es un instrumento compuesto de una barra y un fulcro (punto de apoyo). Ubicamos un objeto en cada extremo de la barra; si el producto del peso del primer objeto por la distancia que lo separa del fulcro es igual al producto del peso del segundo objeto por su distancia al fulcro, entonces el sistema (la balanza) estará en equilibrio. Es decir, si m y M son los pesos de los objetos y, si d y D son las distancias que separan a los objetos del fulcro, respectivamente, entonces la palanca se mantendrá en perfecto equilibrio si $md = MD$.

Según Plutarco, Arquímedes usó este instrumento junto con un sistema de poleas, por petición del rey Hierón, para mover un barco de grandes dimensiones que se había construido como un regalo para el rey Ptolomeo de Egipto (Strathern, 1999). Una vez

se terminó la construcción del barco, los trabajadores no lo pudieron trasladar hasta el agua, tarea que Arquímedes ejecutó solo –según Plutarco– y con mucha destreza mediante el sistema mencionado. Por ello, orgulloso de su ingenio, exclamó: "Dame un punto de apoyo y moveré el mundo".

No es posible hablar de Arquímedes sin mencionar su famoso ¡Eureka! (que en griego antiguo significa 'Lo descubrí'). Marco Vitruvio nos cuenta el modo en el que Arquímedes descubre que el agua le puede ayudar a resolver uno de sus problemas (Reale y Antiseri, 2007). *Grosso modo*, la historia que relata Vitruvio, y que contiene nuestro ejemplo, es la siguiente:

El rey Hierón II, de nuevo, deseaba una corona de oro. Con esta empresa, le entrega el oro para gastar en la corona al orfebre, quien decidió quedarse con un poco de oro y reemplazar la cantidad hurtada por plata, que luego fundió y mezcló con el oro. El rumor llegó a oídos del rey, y este decidió llamar al único, que según él, podría sacarlo de dudas: Arquímedes.

Su tarea consistía en determinar si la corona estaba hecha totalmente de oro, y, de no ser así, establecer la cantidad aproximada de cada metal que la componía; todo esto, por supuesto, sin fundir la corona. Arquímedes no conocía la solución, pero prometió meditarlo. Un día, mientras disfrutaba de un baño en la tina –sugerido por su esposa–, descubrió que al sumergirse en esta, aumentaba el nivel de agua, lo que le permitía conocer el volumen de los cuerpos irregulares. Dado que dos cuerpos con el mismo peso pero con densidades diferentes ocuparán volúmenes diferentes, descubrió que si sumergía un bloque de oro con la masa de la corona este debía desplazar tanta agua en el recipiente como la que desplazaría la corona al sumergirla, a menos que esta estuviera hecha de otro metal, diferente al oro. De esta manera, determinó las cantidades exactas de plata y oro presentes en la corona.

A grandes rasgos, esta es la historia que nos hereda Vitruvio, el mismo cuyas obras inspiraron a Leonardo da Vinci en su famoso dibujo "El hombre de Vitruvio". Siglos después, Galileo rectificó este hecho histórico mediante la creación del método que se expone a continuación.

Galileo Galilei

Galileo Galilei nació en Italia en 1564, es decir, 1873 años después del nacimiento de Arquímedes. Galileo, escéptico ante el método relatado por Vitruvio, escribió un corto documento llamado *La Bilancetta*, que al español podemos traducir como *La balancita* o *La pequeña balanza*.

Ya hemos tenido oportunidad de conocer el método que se le atribuye a Arquímedes. Pues bien, Galileo creía que aunque este método exponía un primer acercamiento a la solución del problema, no era preciso. Insatisfecho con el método expuesto por Vitruvio, presentó de manera detallada otro, que permitiría encontrar la cantidad aproximada de cada uno de los metales presentes en la corona.

Si leemos detenidamente la historia, veremos que, en efecto, determinar las cantidades aproximadas de cada uno de los metales no es tan simple como sumergir objetos con la misma densidad y masa en el agua. A continuación presentaremos una traducción al español de la versión inglesa publicada por Mottana (2017), junto con algunas explicaciones que, esperamos, aclararán algunos apartes del método expuesto por Galileo.

La balancita (1586)

Galileo Galilei 1564–1642

Como saben aquellos que tuvieron la delicadeza de leer autores antiguos, Arquímedes descubrió el engaño de la corona del rey Hierón. Me parece que el método que debió de seguir este gran hombre en este descubrimiento todavía no se conoce.

Como ya dijimos, Galileo no creía que la historia relatada por Vitruvio correspondiera fielmente a la idea original de Arquímedes.

Algunos autores han escrito que sumergió la corona en agua, después de haber sumergido por separado dos cantidades iguales (en peso) de plata y oro puros, y gracias a las diferencias de crecimiento o derrame de agua, pudo identificar la mezcla de oro y plata con la que se fabricó la corona. Pero esta explicación parece, por decirlo de alguna manera, a medias, lejos de la precisión científica que merece; y lo parecerá más aún a aquellos que hayan leído y entendido las invenciones sutiles de este hombre divino,

en sus propios escritos; a partir de los cuales podemos reconocer con claridad cuán inferiores son otras mentes comparadas con la de Arquímedes, y cuán pequeña es la esperanza que nos queda, de poder realizar descubrimientos semejantes a los suyos.

Debemos aclarar que el método expuesto por Vitruvio solo permite calcular el volumen de un sólido irregular; pero calcular la cantidad de oro y plata en la corona con este método no es tan sencillo como sumergir la corona y una masa equivalente de oro para medir sus volúmenes. De manera que Galileo cree que el método que debió de usar Arquímedes fue más complejo.

Creo que se ha difundido un rumor, según el cual Arquímedes descubrió el engaño de la corona por medio del agua, y algún autor de esa época pudo haber registrado por escrito este hecho. El mismo autor, con el ánimo de agregar algo a lo poco que había oído, pudo haber dicho que Arquímedes usó el agua en la forma que se aceptó universalmente. No obstante, mi conocimiento de que este método es falso y carente de la precisión necesaria en cuestiones matemáticas me hizo pensar muchas veces en cómo, por medio del agua, se puede determinar exactamente la mezcla de dos metales. Y por fin, después de abordar con cuidado todo lo que Arquímedes demuestra en su libro *De los cuerpos que flotan y el equilibrio*, llegó a mi mente un método que resuelve nuestro problema de manera muy precisa. Es probable que sea el mismo que usó Arquímedes, puesto que, además de ser muy preciso, se basa en las demostraciones construidas por él mismo.

Este método consiste en utilizar una balanza, cuya construcción y uso explicamos ahora, luego de exponer lo necesario para comprenderlo. Primero, debemos saber que los cuerpos sólidos que se sumergen en el agua pesan menos en esta de lo que pesan en el aire, tanto como el peso en el aire de un volumen de agua igual al de dicho cuerpo.

Es decir, para calcular el peso del objeto en el agua, debemos restar al peso del objeto, el peso de una cantidad equivalente al volumen del mismo objeto pero con la densidad del agua.

Este [principio] fue demostrado por Arquímedes, pero dada la complejidad de su demostración, la dejaré a un lado para no tomarnos mucho tiempo, y lo demostraré por otros medios. Supongamos, por el momento, que sumergimos una bola de oro en el agua. Si la bola fuera de agua no tendría peso, porque el agua puesta sobre el agua

ni se hunde ni flota. Entonces es claro que, en el agua, nuestra bola de oro pesa la cantidad por la cual el peso del oro (en el aire) es mayor que en el agua. Lo mismo se puede decir de otros metales. Y como los metales tienen diferente gravedad específica, su peso en el agua disminuye en distintas proporciones. Supongamos por el momento que el oro pesa 20 veces más que el agua...

Recordemos que la densidad del oro es 19,3 gramos por cada centímetro cúbico.

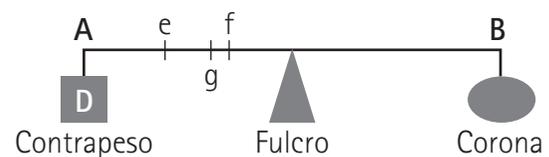
... es evidente por lo que dijimos que el oro pesará menos en el agua que en el aire en una vigésima parte de su peso total (en el aire). Ahora supongamos que la plata, que es menos pesada que el oro, pesa doce veces lo que pesa el agua...

La densidad de la plata es de 10,49 gramos por centímetro cúbico.

... si pesamos la plata en agua, su peso decrecerá en un doceavo de su peso en el aire. Así, el peso del oro en el agua disminuye menos que el de la plata, puesto que el primero lo hace a una vigésima parte, y el segundo a una doceava.

Esto es, al sumergir un objeto en el agua, la cantidad de peso que perderá será equivalente a su volumen en el agua; así podemos inferir que el oro decrece su peso una cantidad menor que la plata al ser sumergido en el agua.

Vamos a suspender un trozo de metal sobre el brazo de una escala de gran precisión, y sobre el otro brazo un contrapeso, cuyo peso coincida con el del trozo de metal en el aire. Si ahora sumergimos el metal en el agua y dejamos su contrapeso en el aire, debemos traer dicho contrapeso cerca del punto de suspensión (o fulcro), para balancear el metal. Supongamos, por el momento, que AB'' es la balanza y C es el punto de suspensión; suspendamos un trozo de algún metal en B , que balanceamos con el peso D . Si sumergimos el peso B en el agua, el peso D en A , en el aire, pesará más que B en el agua. Para obtener el mismo peso debemos traerlo más cerca del punto de suspensión C , por el momento, a E . El metal pesará más (en el aire) que en el agua tantas veces como la distancia AC sea mayor que la distancia AE .



Supongamos ahora que el peso B es oro y cuando lo sumergimos en el agua, su contrapeso se desplaza hasta e ; luego hacemos lo mismo con plata pura, y cuando la sumergimos en el agua su peso se desplaza hasta f . Este punto estará más cerca de C que e , como lo muestra el experimento, porque la plata es más liviana que el oro. La diferencia entre la distancia Af y la distancia Ae será la misma que la diferencia entre los pesos específicos del oro y la plata. Pero, si tenemos una mezcla de oro y plata, es claro que como contiene una parte de plata, pesará menos que el oro puro, y como contiene una parte de oro, pesará más que la plata pura. Si además lo pesamos primero en el aire, y luego queremos el mismo contrapeso para balancearlo cuando esté sumergido en el agua, tendremos que desplazar dicho contrapeso más cerca del punto de suspensión C que el punto e (que es la marca para el oro), y más lejos que f (que es la marca de la plata pura), y en consecuencia estará entre e y f . De la proporción en la cual la marca ef se divide, debemos obtener exactamente la proporción de los dos metales compuestos en la mezcla. Así, por el momento, supongamos que la mezcla de oro y plata se encuentra en B , balanceado en el aire por D , y que su contrapeso se desplaza hasta g al sumergir la mezcla en agua. Ahora digo que el oro y la plata que componen la mezcla están en la misma proporción que las distancias fg y ge . Debemos notar que la distancia gf (que termina en la marca de plata) mostrará la cantidad de oro, y la distancia ge (que termina en la marca de oro) indicará la cantidad de plata; de esta manera, si fg es dos veces ge , la mezcla en mención se constituirá en dos partes de oro y una de plata. Así, procediendo en el mismo orden de ideas en el análisis de otras mezclas, debemos determinar exactamente las cantidades de metales simples que las componen.

Para construir esta balanza, tome una barra de madera de al menos dos brazos (117 cm) de longitud. Cuanto más larga sea la barra, mayor será la precisión del instrumento. Suspense la barra en su punto medio, luego ajuste los brazos de esta, de tal forma que se encuentre en equilibrio, adelgazando el extremo que se encuentre más pesado; en uno de los brazos marque los puntos donde estarán los contrapesos de

los metales puros al pesarlos en el agua, teniendo en cuenta usar los metales más puros que pueda encontrar. Hecho esto, debemos encontrar la forma de obtener fácilmente las proporciones en las cuales las distancias entre las marcas para los metales puros están divididas por las marcas de las mezclas. Esto, en mi opinión, se puede lograr de la siguiente forma:

Sobre una de las marcas para los metales puros enrolle una sola vuelta de una cuerda muy delgada, y alrededor de los intervalos entre las marcas un alambre de cobre delgado; estas distancias se dividirán en varias partes más pequeñas. Así, por ejemplo, sobre las marcas e y f enrollamos dos vueltas de otro alambre (lo hago para distinguirlo de la primera cuerda). Luego lleno el espacio que se encuentra entre las e y f enrollando sobre este una cuerda muy fina de alambre, que dividirá el espacio ef en partes más pequeñas y de igual longitud. Para conocer la proporción entre fg y ge , debemos contar el número de vueltas en fg y el número de vueltas en ge , y encontraremos, por ejemplo, que el número de vueltas en fg es 40, y en ge es 21. Entonces, diré que en la mezcla hay 40 partes de oro y 21 de plata. Es decir, 40/61 de la corona estarán compuestos de oro y 21/61 de plata.

En este punto debo advertir una dificultad que nace al contar el número de vueltas: como las cuerdas son tan delgadas, lo que es necesario para obtener mayor precisión, no es posible contarlas visualmente, porque el ojo es engañado por los objetos demasiado pequeños. Para contarlos con facilidad es necesario usar un estilete –vara alargada y estrecha similar a un bolígrafo– y pasarlo suavemente sobre las cuerdas mencionadas. Así, un poco a través de nuestro oído y un poco a través de nuestro tacto, sintiendo el obstáculo en cada vuelta de la cuerda, debemos poder contar fácilmente dichas vueltas. Y de este número, como dije antes, debemos obtener la cantidad precisa de metales puros de la cual está hecha la mezcla. Note que estos metales están en relación inversa a sus distancias: así, por ejemplo, en una mezcla de oro y plata, las vueltas hacia la marca de plata indicarán la cantidad de oro, y las vueltas hacia la marca de oro indicarán la cantidad de plata. Lo mismo es válido para otras mezclas.

Conclusiones

El método propuesto por Galileo presenta una aplicación y articulación simple pero ingeniosa de algunos conceptos fundamentales de las ciencias básicas: masa, peso, densidad o peso específico, ley de la palanca y proporciones, en la determinación de la cantidad aproximada de cada metal en una mezcla.

La reconstrucción de este método se hace posible con los conocimientos adquiridos en la Educación Básica Secundaria. Para ello no se requieren elementos tecnológicos modernos, lo que hace la práctica accesible a cualquier población académica.

Para implementar esta articulación de la historia en las prácticas pedagógicas, será necesario establecer un diálogo previo entre los docentes de las diferentes asignaturas involucradas y comprender los detalles tanto científicos como históricos del episodio mencionado.

Finalmente, el método expuesto por Galileo constituye un ejemplo claro de la articulación de las ciencias básicas (física, química, matemáticas) y la historia en la enseñanza de las ciencias naturales y exactas.

Referencias

- Artmann, B. (1996). *Euclid-The Creation of Mathematics*. Springer: Nueva York.
- Braga, M., Guerra, A. y Reis, J. (2012). The role of historical-philosophical controversies in teaching sciences: The debate between Biot and Ampère. *Science & Education*, 21, 921-934.
- Cajori, F. (1985). *A history of mathematics*. Nueva York: Chelsea Publishing Company.
- Gómez, Y. R. (2004). Calidad educativa: más que resultados en pruebas estandarizadas. *Educación y Pedagogía*, 16(38), 75-89.
- González, U. P. (1991). Historia de la matemática: integración cultural de las matemáticas, génesis de los conceptos y orientación de su enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 9(3), 281-289.
- González, U. P. (2004). La historia de las matemáticas como recurso didáctico e instrumento para enriquecer culturalmente su enseñanza. *Suma*, 45, 17-28.
- Haddad, W., Carnoy, M., Rinaldi, R. y Regel, O. (1990). *Education and development. Evidence for new priorities* (World Bank Discussion Paper, 95). Washington, D. C. World Bank.
- Kline, M. (1963). *Mathematics: A cultural approach*. Addison Wesley, Longman Publishing Co.
- Leite, H. y Porto, P. (2015). Análise de abordagem histórica para a tabela periódica em livros de química geral para o ensino superior usados no Brasil no século xx. *Quim Nova*, 38(4), 580-587.
- Martínez, M. y Chavarría, J. (2012). Uso de la historia en la enseñanza de la matemática. VIII Festival Internacional de Matemática. Universidad Nacional, Liberia, Costa Rica.
- Matthews, M. R. (1994). Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), 255-277.
- Ministerio de Educación Nacional, MEN. (2004). *La educación en Colombia. Revisión de políticas de educación*. Organización para la Cooperación y el Desarrollo-OCDE.
- Mottana, A. (2017). Galileo's La Bilancetta: The first draft and latter additions. *Philosophia Scientia*, 21(1), 165-179.
- Reale, G. y Antiseri, D. (2007). *Historia de la Filosofía. Tomo 1. Filosofía antigua pagana*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Sánchez, L. F. (2005). La historia como ciencia. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 1(1), 54-82.
- Strathern, P. (1999). *Arquímedes y la palanca*. Siglo Veintiuno España.
- Windschuttle, K. (2008). La historia como ciencia social: relativismo, hermenéutica e inducción. *Revista de Santander. Nuevas Corrientes Intelectuales*. 3.
- Zubkova, A., Nikolenko, M., Shtil, M., Vavulina, L. y Antonov, V. (2009). *Pitágoras y su escuela*. Montreal: New Atlanteans.

DIÁLOGO DEL CONOCIMIENTO

No solo es muy esclarecedora la manera como el profesor nos lleva de la mano a recorrer los vericuetos del razonamiento en ciencias, en especial cuando tienen que ver con la mecánica, sino que tal travesía se convierte en la ocasión para preguntarnos acerca de lo que significa el conocimiento en las ciencias y acerca de actividades de añoranza que hoy se esconden detrás de las bombillitas oscurecedoras de los led.

Recuerdo cuando hace ya tiempo preguntaba a mis alumnos de cursos superiores en la licenciatura por el principio de Arquímedes. Con casi absoluta precisión lo enunciaban con seguridad y orgullo... "El peso que pierde el objeto sumergido en el agua es igual al peso del agua desalojada".

Sin embargo, una vez lo habían enunciado, cuando les preguntaba por qué, su cara de sorpresa denunciaba que eso no lo habían pensado. Y entonces surgían mil consideraciones acerca de lo que era saber, comprender los enunciados de las ciencias.

La situación es cada vez más dramática: día a día manipulamos las fórmulas y expresiones de manera automática, sin conocer las imágenes que se han construido para darles sentido a los enunciados y aun para anticiparnos a las consecuencias de hacer sin comprender.

Creo que utilizar una herramienta sin conocer cómo funciona es bastante peligroso. Y sobre esto vuelve este artículo, que de manera amena y rigurosa nos llama la atención no solo por la conveniencia de la comprensión, sino por el encanto de haberla logrado.

Creo que uno de los mayores placeres que se viven, se encuentra en la comprensión. Al respecto, creo que el encanto de las pantallitas de los teléfonos inteligentes nos está privando de satisfacciones mayores, que se encuentran en el destello abstracto de haberlo captado, a cambio de la magia fácil de la imagen inesperada.

Así pues, este artículo es una joyita que posiblemente se degusta más cuando ya se sabe que cuando se va en camino de la comprensión.

DINO SEGURA