



Naturaleza de la ciencia e historia de la ley de Boyle en futuros profesores de ciencias

Nature of science and history of Boyle's law in pre-service science teachers

Alejandro Leal Castro

Universidad Santiago de Cali, Facultad de Educación. Santiago de Cali, Valle del Cauca, Colombia
alejandro.leal00@usc.edu.co

Edna Eliana Morales Oliveros

Universidad del Tolima, Facultad de Ciencias de la Educación. Ibagué, Tolima, Colombia
emoraleso@ut.edu.co

RESUMEN • Este artículo presenta los resultados de una investigación llevada a cabo con futuros profesores de ciencias. En concreto, se muestran los hallazgos derivados de la aplicación de una secuencia didáctica (SD) que integra la categoría naturaleza de la ciencia (NdC) con los modelos históricos presentes en la formulación de la ley de Boyle, a saber, la controversia filosófica sobre el vacío, el interés por la producción de vacío experimental y, en última instancia, la construcción de la bomba de aire y los trabajos de Boyle sobre la presión del aire. Se destaca el valor potencial de la historia de la ciencia (HC) para el aprendizaje sobre la ciencia, es decir, sus resultados y procesos.

PALABRAS CLAVE: Naturaleza de la ciencia; Historia de la ciencia; Ley de Boyle; Futuros profesores de ciencias.

ABSTRACT • This paper shows the findings of a piece of research carried out with Colombian pre-service science teachers. Particularly, it points out the results derived from the application of a didactic sequence which ties up the category nature of science (NoS) along with the historical models of Boyle's law, such as the philosophical controversy about the vacuum, the interest for the experimental vacuum production and, finally, the design of the air pump and the works of Boyle about the air pressure. It highlights the key role of history of science so as to learn science, that is to say, its outcomes and processes.

KEY WORDS: Nature of science; History of science; Boyle's law; Pre-service science teachers.

Recepción: febrero 2019 • Aceptación: febrero 2020 • Publicación: marzo 2021

Leal Castro, A. y Morales Oliveros, E. E. (2021). Naturaleza de la ciencia e historia de la ley de Boyle en futuros profesores de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(1), 175-193.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2918>

INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la didáctica de las ciencias existe consenso sobre la necesidad de impulsar una educación científica que permita a los ciudadanos participar de los debates tecnocientíficos propios de su sociedad. Es lo que se ha denominado alfabetización científica (Bennásar et al., 2010). De ahí, la necesidad de reflexionar acerca de los principios fundamentales sobre el funcionamiento actual de la ciencia.

En el interior de la comunidad académica de didácticas de las ciencias se ha planteado la expresión naturaleza de la ciencia (NdC) como componente esencial para el logro de dicha alfabetización científica (Alonso et al., 2007). De hecho, un objetivo central de la educación científica es el desarrollo de concepciones adecuadas acerca de la NdC (Lederman et. al., 2002). No obstante, numerosos estudios (Arana, 2005; Cardoso, Erazo y Chaparro, 2006; Cardoso y Morales, 2012; Guisasaola y Morentin, 2007; Leal, 2010; Rivas y Aristizábal, 2005) evidencian que tanto profesores –en formación inicial (futuros profesores de ciencias) y en ejercicio– como estudiantes presentan concepciones inadecuadas sobre la NdC, es decir, que no se corresponden con los consensos sobre lo que contemporáneamente representa la actividad científica.

Esto plantea la necesidad de realizar investigaciones que reflexionen en torno al aprendizaje de la NdC. Para lograr tal propósito es necesario integrar la NdC con un contenido científico escolar que, en este caso, son tres modelos que históricamente han contribuido a explicar el comportamiento de los gases. Así, se realiza un estudio histórico acerca de la ley de Boyle que desencadena en la formulación de estos modelos históricos, a saber, la discusión filosófica sobre el vacío, el interés por la producción de vacío experimental y, finalmente, la construcción de la bomba de aire y los trabajos de Boyle sobre la presión del aire.

A nivel metodológico se recurre a un estudio cualitativo. El diseño metodológico está compuesto por tres fases. La primera de ellas permite identificar las concepciones de NdC y los modelos mentales iniciales sobre la medición de la presión y el volumen de una masa de aire, así como su relación (enunciación matemática de la ley de Boyle) y, en lo fundamental, su proceso de construcción histórica. En la segunda fase se abordan los modelos históricos presentes en la constitución de dicha ley a través de una secuencia didáctica titulada «El estudio de la Ley de Boyle: contando historias de la historia de la ciencia».

Para terminar, se realiza un ejercicio de simulación experimental que permite discutir una serie de preguntas formuladas desde la perspectiva de la indagación basada en modelos. Asimismo, se aplican las mismas cuestiones del Cuestionario de Opiniones sobre Ciencia, Tecnología y Sociedad (COCTS) propuesto por Manassero, Vázquez y Acevedo; y que fueron trabajadas durante la fase número uno.

De este modo, fue posible evidenciar la evolución en los modelos de los estudiantes en diversos tópicos de la NdC tales como la importancia de las suposiciones en el progreso científico, reconociendo que estas no siempre tienen que ser verdaderas; también se destaca la relevancia de los errores en la práctica científica y el papel de las comunidades científicas. De hecho, la ciencia es un esfuerzo humano de carácter colectivo. Además, se hace alusión a que el conocimiento en la ciencia no crece de manera lineal ni acumulativa y que el tipo de conocimiento que proviene de la ciencia se caracteriza por la provisionalidad.

FUNDAMENTOS CONCEPTUALES

Aproximación a la naturaleza de la ciencia (NdC)

Es común percibir que numerosas personas, inclusive aquellas que acceden a la educación superior, afirmen taxativamente que disciplinas como la física, la biología y la química son de carácter científico y no dudan en catalogarlas como ciencias. Sin embargo, muy pocos reflexionan sobre las características que ellas deben presentar para designarlas como ciencia. Una cosa es saber realizar correctamente una actividad y otra bien distinta, saber en qué consiste realizar esa actividad correctamente. En este sentido, resulta pertinente distinguir entre saber ciencia y saber qué es la ciencia.

Justamente, la NdC, en sentido genérico, pretende aproximarse a esta cuestión. Así, se la puede concebir como la «capacidad de dar razón de lo que la ciencia es, lo que puede expresarse también sumando los titulares de los libros de Chalmers: ¿qué es esa cosa llamada ciencia? y ¿cómo se fabrica, o cómo se construye?» (Berta, 2005, p. 35) Estos interrogantes adquieren sustento en saberes de segundo orden, tales como la epistemología, la historia y la sociología de la ciencia, y más recientemente, la psicología de la ciencia.

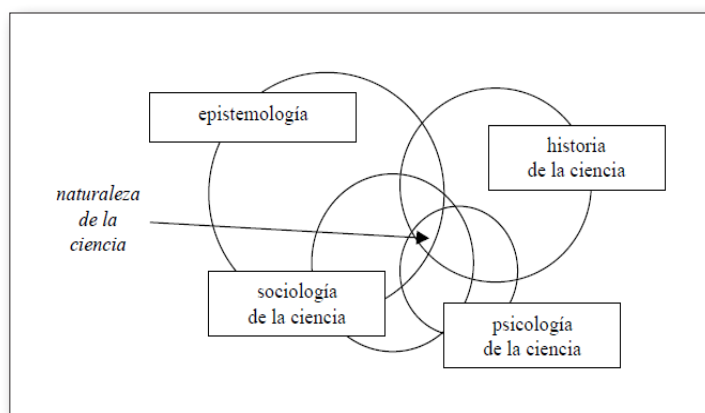


Fig. 1. Definición de NdC. Fuente: McComas y Olson (1998).

La naturaleza de la ciencia (NdC), en tanto metacontenido con alto valor educativo, necesita por lo tanto ser enseñada y aprendida. Para esto propósito, es fundamental impulsar un razonamiento basado en modelos. De acuerdo con Nersessian (2001) –citado por Morales (2010)– este tipo de razonamiento «facilita la comprensión de la naturaleza artificial y tentativa del conocimiento científico, favorece comprender el dinámico interjuego de las acciones de la ciencia, negocia con el conocimiento previo de los estudiantes para proveer modos de representación cada vez más complejos de los sistemas reales» (p. 23). Lo anterior ubica la discusión en el plano de los procesos, funcionamiento, procedimientos y productos de la ciencia, situándose sobre y en esta.

De acuerdo con Justi (2006), el enfoque por modelos presenta varias ventajas:

- En el contexto de esta propuesta [la enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos], los alumnos tienen la oportunidad de experimentar aspectos excitantes e interesantes de la producción del conocimiento científico, de pensar sobre los propósitos de la ciencia, de poder formular preguntas más críticas y atinadas, de proponer explicaciones y previsiones, y de evaluar el modelo propuesto para obtener informaciones que puedan ayudar en la reformulación del mismo. En otras palabras, la construcción de modelos es una actividad con mucho potencial para implicar a los alumnos a «hacer ciencia», «pensar sobre ciencias» y «desarrollar pensamien-

to científico y crítico». De esta forma la ciencia dejaría de ser algo que se lee en los libros para transformarse en una actividad mediante la cual los fenómenos se estudian de una forma activa (p. 178). Según lo advierten Justi (2006) y Morales (2010) para aprender sobre la ciencia es necesario comprender su naturaleza, así como identificar que los procesos de modelización son algo fundamental.

- Por otra parte, en la actualidad, incluir aspectos acerca de la NdC en futuros profesores de ciencias es considerado una prioridad (Flick y Lederman, 2010). Sin embargo, la discusión se centra en cómo esta debe enseñarse de modo que se generen aprendizajes más profundos, no solo de la propia NdC, sino de los contenidos de base de las disciplinas científicas objeto de enseñanza.
- Dado que en el currículo de los programas de profesores de ciencias existe un énfasis en los contenidos disciplinares específicos, se hace necesario reflexionar sobre estos, de ahí la importancia de articularlos con aspectos propios de la NdC. Los contenidos disciplinares le dan sentido a ciertos consensos sobre qué es la ciencia, cómo funciona y cuáles son sus procesos y valores, que por su generalidad se hacen complejos de aprender. De igual forma, es indispensable para un futuro profesor de ciencias, reconocer que la naturaleza epistémica diferenciada de las ciencias naturales, junto con la diversidad en cuanto a su desarrollo histórico y sociológico son aspectos que necesariamente hay que incluir cuando de aprendizaje de la NdC se trata.

Ahora bien, desde la perspectiva histórica en la que se circunscribe este artículo también es de suma importancia reflexionar acerca de las transformaciones que han sufrido los modelos históricos a través del tiempo y cómo se configuran en un punto estructurante de estudio para el análisis del cambio en la naturaleza del conocimiento científico. El aprendizaje de la ciencia requiere, en consecuencia, comprender la creación, expresión y formas de aceptación de los modelos construidos con un objetivo determinado.

Tres modelos en la construcción histórica de la Ley de Boyle

Primer modelo: La discusión filosófica sobre el vacío. Los albores de la discusión hunden sus raíces en la Antigua Grecia, con el escrutinio de ideas en torno a la naturaleza del vacío, sostenidas por aristotélicos y atomistas. Demócrito, representante del atomismo, consideraba la existencia del vacío. El principal argumento de los atomistas para afirmar que este existía consistió en considerar que el movimiento no podía ocurrir sin vacío y que la luz era generada por el movimiento rápido de los corpúsculos en el vacío. Aristóteles se opuso a estos razonamientos, y, para ello, propuso la noción de movimiento natural de los cuerpos. Según la postura aristotélica la velocidad de movimiento de un cuerpo estaba determinada por su peso y la resistencia del medio. Respecto al problema de la luz, esta era la actualización de un medio potencialmente transparente como el agua o el aire (Webster, 1965)

Segundo modelo: El interés por la producción de vacío experimental. El primer aparato fue diseñado probablemente por Gasparato Berti.

La primera parte del trabajo se enfocó en probar que el aire tenía las propiedades de peso y elasticidad. El peso fue la primera característica del aire, rasgo que fue deducido desde los trabajos de Pascal y Torricelli y por la ponderación directa del aire. Boyle estuvo convencido de la elasticidad del aire y buscó un modelo teórico con el cual explicar este fenómeno, relegando a un segundo plano la indecisión sobre si los corpúsculos estaban suspendidos en éter o vacío (Boyle, 1682).



Fig. 4. La bomba de aire..
Fuente: Boyle (1682).

Los experimentos de Robert Boyle. Boyle realizó un total de 43 experimentos. El experimento crucial fue el tubo en forma de «J», ideado debido a que el brazo más corto podría contener un volumen de aire el cual podría ser comprimido por un volumen de líquido en el brazo más largo.

La observación que Boyle notó fue que el volumen de aire había sido reducido a la mitad cuando el mercurio se mantuvo en 29 pulgadas en el brazo largo, esto es, cuando la presión del aire fue doblada. De acuerdo con Webster (1965), la formulación inicial de la ley declaraba que la presión del aire era proporcional a su densidad. Esto es diferente a enunciar la ley como muchos suelen hacerlo, esto es, que el volumen de un gas es inversamente proporcional a la presión ejercida sobre él. La expresión moderna de la ley, usando el volumen como una de las dos variables no tiene connotación física y aunque el volumen de aire es medido en los experimentos, la presión no es debida al espacio de ella misma. Cuando Boyle notó la contracción del aire enfatizó que este fue reducido, pero la mitad del espacio estaba ocupado antes. Entonces el volumen de aire no era de importancia, la fuerza estaba siendo causada por el incremento de la densidad y posible compresión física de las partículas (Boyle, 1682).



Fig. 5. Tubo en forma de J..
Fuente: Boyle (1682).

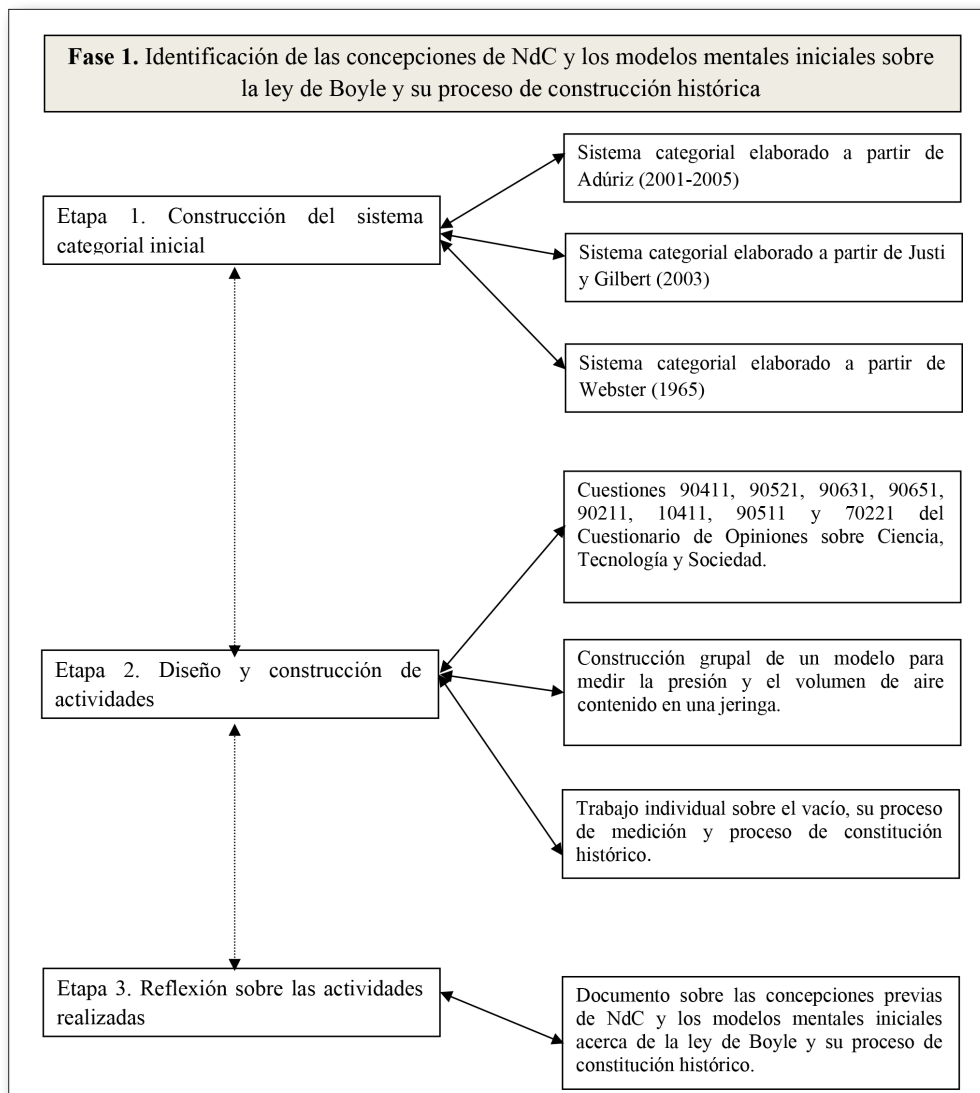
METODOLOGÍA

La presente investigación se aborda desde un enfoque cualitativo, entendiendo que la realidad social es vista como un texto susceptible de ser interpretado de múltiples maneras a partir de la comprensión de su sentido (Castro y Sehk, 1997). Dado que uno de los intereses de esta propuesta es mejorar las concepciones de NdC en este grupo profesores es necesario buscar un método que permita develar lo no dicho, los sentidos latentes u ocultos, y, precisamente la técnica del análisis de contenido procura indagar lo que se dice, cómo se dice y, especialmente aquello que se omite (Chaparro y Rojas, 2009) tomando en cuenta lo que se manifiesta explícitamente, pero intentando dilucidar lo implícito u oculto.

La unidad de trabajo se corresponde con 15 futuros profesores de ciencias naturales de la licenciatura de ciencias naturales y educación ambiental de la Universidad del Tolima. Su selección se estableció de manera intencional, siguiendo los criterios de Marradi, Archenti y Piovani (2002). Estos criterios tienen en cuenta a las personas que presentaron información relevante para la investigación, los sujetos más accesibles, la disponibilidad de colaboración por parte de los entrevistados y la precisión con la que se comunicara la información.

Estos mismos autores también presentan el criterio de homogeneidad, el cual es entendido en esta investigación de la siguiente manera: desde el punto de vista de las concepciones de NdC quienes, se presume, presentan información relevante son aquellos sujetos que recibieron una formación académica con una propuesta curricular similar en lo concerniente a cuerpo docente, núcleos temáticos, investigación y práctica docente en el centro universitario. Razón por la cual el trabajo se centra en un grupo de personas con un nivel de estudios formal homogéneo. En este sentido, se seleccionaron los estudiantes que se encontraban en octavo semestre y asisten a la asignatura de didáctica especial de la física.

El diseño metodológico estuvo orientado por tres fases.



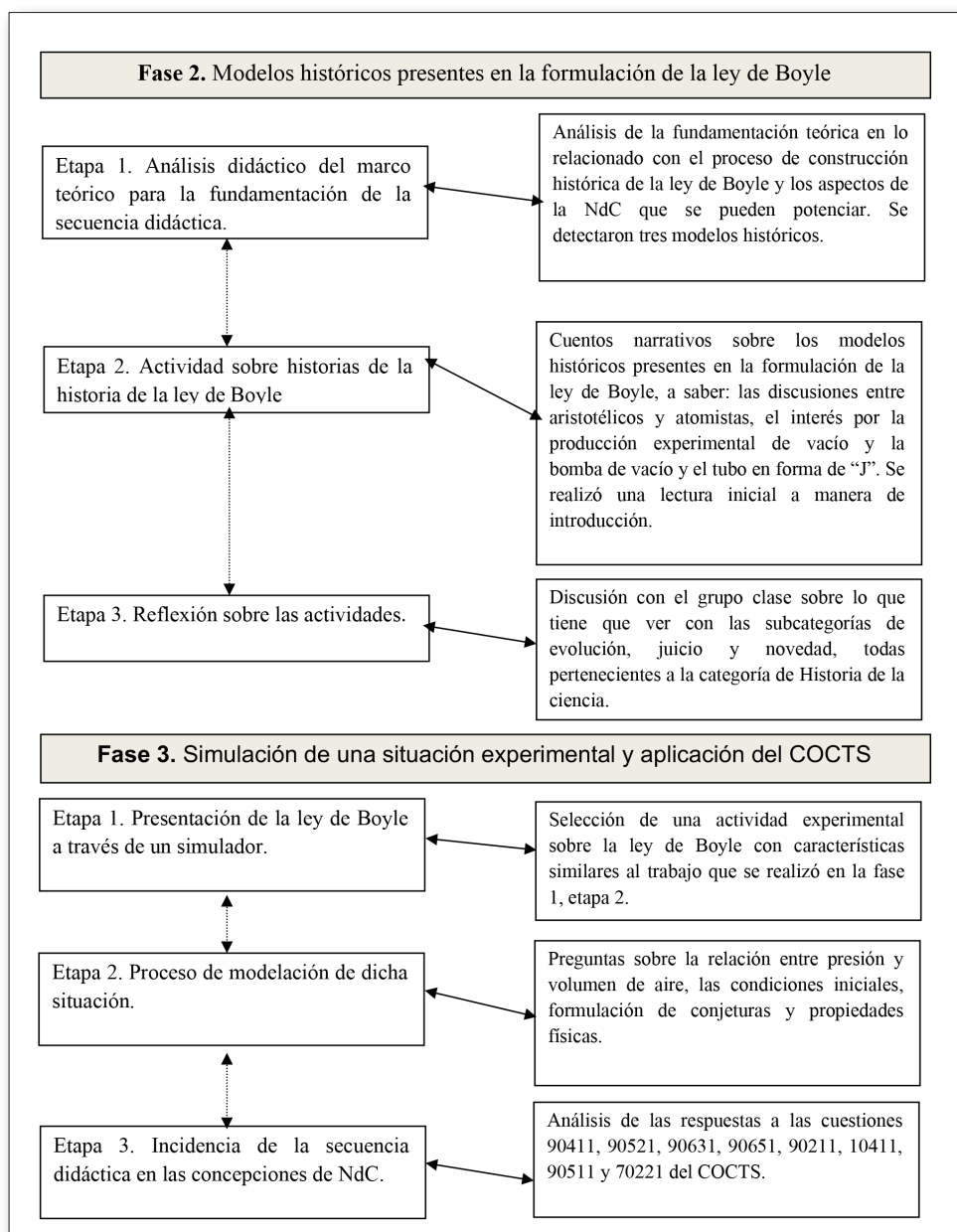


Fig. 6. Diseño metodológico.

Fase 1. Identificación de las concepciones de NdC y los modelos mentales iniciales sobre la ley de Boyle y su proceso de construcción histórica.

El cuestionario inicial que se aplicó a los futuros profesores de ciencias para indagar en las concepciones de NdC fue el COCTS –Cuestionario de Opiniones sobre Ciencia, Tecnología y Sociedad–. Este cuestionario anónimo pretende conocer sus opiniones acerca de algunas cuestiones importantes sobre la ciencia y la tecnología en el mundo actual. Todas las cuestiones tienen la misma estructura: un texto inicial que plantea un problema y va seguido de una lista de frases que representan diferentes alternativas de posibles respuestas al problema planteado, y que están ordenadas y etiquetadas sucesivamente con una letra (A, B, C, D, etc.).

Se pide que valore su grado de acuerdo personal con cada una de estas frases escribiendo sobre el cuadrado a la izquierda de la frase el número que representa su opinión, expresado en una escala de 1 a 9 con los siguientes significados:

DESACUERDO				Indeciso	ACUERDO				OTROS	
Total	Alto	Medio	Bajo		Bajo	Medio	Alto	Total	No entiendo	No sé
1	2	3	4	5	6	7	8	9	E	S

En la tabla 1 se explica cómo se identificaron los modelos mentales iniciales sobre la medición de la presión y el volumen del aire, el vacío, su medición y proceso de construcción histórica.

Tabla 1.
Identificación de los modelos mentales iniciales sobre la ley de Boyle y su proceso de construcción histórica

Actividad	Objetivo	Instrumentos
Modelos iniciales sobre la medición de la presión y el volumen	Identificar los modelos expresados a nivel iconográfico y verbal sobre la medición de dos variables fundamentales para la medición de la ley de Boyle a través de una serie de herramientas tales como jeringas, dinamómetro, fósforos y libros.	Actividad grupal que se relaciona con la forma para determinar la presión y el volumen del aire que hay en una jeringa.
Modelos iniciales sobre la construcción histórica de la ley de Boyle: La importancia del vacío	Identificar los modelos iniciales sobre el vacío, su medición y proceso de construcción histórico.	Actividades iniciales con tres preguntas sobre la existencia del vacío, el proceso para determinar su medición, su representación gráfica y cómo creen que en la historia de la ciencia se supo de la existencia del vacío.

Fuente: Elaboración propia.

Fase 2. Modelos históricos presentes en la formulación de la ley de Boyle.

Para el desarrollo de esta fase se implementó la metodología de trabajo cooperativo en grupos de expertos con cuentos propios creados de manera original. De acuerdo con Couso (2005) «esta metodología se basa en las teorías de aprendizaje socioconstructivista, es decir, en el aprendizaje en la interacción social, pero centrada en la interacción entre iguales» (p. 264).

Los denominados expertos fueron estudiantes que se hacían responsables de una parte de cada cuento que les correspondió. Así tenían una doble responsabilidad; por un lado, debían comprenderla y, por el otro, se les propuso realizar una actividad para que sus compañeros del grupo –no expertos–, la comprendieran. Estos últimos debían elaborar un documento individual con unas preguntas previamente elaboradas (tabla 3).

Tabla 2.
Título de cada cuento

Cuento I	Las discusiones entre aristotélicos y atomistas
Cuento II	El interés por la producción experimental del vacío
Cuento III	La bomba de vacío y el tubo en forma de «J»

Fuente: Elaboración propia.

Se realizaron preguntas por cada cuento que fueron discutidas en los grupos de trabajo y socializadas posteriormente.

Tabla 3.
Preguntas de cada cuento.

<i>Lectura I</i>	<i>Lectura II</i>	<i>Lectura III</i>
<ul style="list-style-type: none"> - ¿Por qué es importante estudiar la ley de Boyle? - ¿Cuál es el punto de inicio histórico en el estudio de la ley? - ¿Qué relación considera que existe entre el aire y el vacío? - Explique los argumentos de aristotélicos y atomistas para defender sus puntos de vista. ¿Cuál de los dos le parece más convincente y por qué? 	<ul style="list-style-type: none"> - ¿Cuál era el objetivo de los trabajos realizados en esta época? - ¿Qué relación existe entre el trabajo experimental de Berti y la idea de presión? - ¿Por qué existieron diferentes interpretaciones al espacio que se creó con el barómetro de agua de Berti? - ¿Qué cambió entre el experimento practicado por Berti y el de Torricelli? - ¿Cuál fue la importancia del trabajo realizado por Roverbal? 	<ul style="list-style-type: none"> - ¿En qué radica la importancia de la construcción de la bomba de vacío? - ¿Qué cambió entre el experimento de Torricelli y la bomba de vacío? - ¿Cuál fue la diferencia entre la actitud de Tower y Towneley y la de Boyle? - Explique la importancia del tubo en forma de J - ¿Por qué cree que se formula al final la pregunta acerca de quién construyó la ley de Boyle?

Fuente: Elaboración propia.

Concluida esta actividad, se presenta una discusión con el grupo clase a través de los interrogantes de la tabla anterior donde, por grupos de trabajo, los estudiantes debían encontrar ejemplos de algunos tópicos sobre la naturaleza de la ciencia (NdC).

Fase 3. Simulación de una situación experimental y aplicación del COCTS

Durante esta fase final se simuló una actividad experimental. Para esto fue necesario establecer como condiciones iniciales que la cantidad de aire debía ser la misma, que el sistema físico se mantenía en equilibrio, es decir, que sumatoria de fuerzas (aplicada y de rozamiento) era igual a cero y que los choques entre las partículas gaseosas eran elásticos, esto es, la energía cinética se almacena en forma de energía potencial que después se convierte de nuevo en energía cinética.

Finalmente, se expresó que para que la Ley de Boyle se cumpliera, la temperatura debía permanecer constante. Dicho esto, los estudiantes debían diseñar una situación con base en los siguientes criterios: *i)* diseñe una pregunta sobre una situación física propia de la cotidianidad que pueda ser respondida a través del modelo de la ley de Boyle; *ii)* a partir de la pregunta formulada establezca las condiciones que se deben tener en cuenta y aquellas que se desprecian, en el momento del estudio del fenómeno físico y justificar; *iii)* representar de manera esquemática dicha situación física a la luz de las conceptualizaciones realizadas sobre el modelo de la ley de Boyle. Incluir las propiedades físicas claves para su representación y justificar; *iv)* a partir de las representaciones realizadas, las condiciones establecidas, formule hipótesis haciendo uso de los conceptos claves de la ley para dar solución a la pregunta que formuló; *v)* conseguir datos a través del simulador que permitan justificar, rechazar o modificar las hipótesis que formularon en el punto, y *vi)*. Al final, se aplicaron las mismas cuestiones iniciales del COCTS de la fase I para reflexionar sobre la evolución en las concepciones de NdC.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados y su respectivo análisis se presentan de acuerdo a cada una de las fases establecidas. Como se ha descrito anteriormente, cada fase establece una serie de actividades de las cuales se derivan documentos de naturaleza verbal, escrita e iconográfica. Estos documentos son analizados utilizando la técnica de análisis de contenido. Los documentos o registros son de naturaleza individual y grupal.

Fase I. En relación con las concepciones de NdC en el grupo de futuros profesores de ciencias es relevante destacar lo siguiente:

El papel de los errores en el progreso científico. La cuestión general que analizan los estudiantes para esta temática es la siguiente: *Los científicos NO deberían cometer errores en su trabajo porque los errores retrasan el avance de la ciencia (C90651)*

Al respecto, los futuros profesores de ciencias presentan concepciones heterogéneas que se caracterizan por la coexistencia de diferentes posturas, tales como considerar que los errores no siempre son sinónimo de atraso para la ciencia y, que estos en algunas ocasiones pueden causar progreso y en otras, retroceso. No obstante, al mismo tiempo se considera que estos conducen a conclusiones incorrectas, lo que se contrapone a la idea inicial de considerar los errores como sinónimo de progreso. Esta situación no permite establecer la presencia de concepciones adecuadas o inadecuadas en lo que respecta al papel de los errores en el progreso científico.

Estatus de las teorías y leyes científicas. La cuestión general abordada es la siguiente: *Las ideas científicas se desarrollan desde las hipótesis hasta las teorías, y finalmente, si son suficientemente buenas, hasta constituir leyes (C90511).*

En lo que atañe al desarrollo de las ideas científicas desde las hipótesis hasta constituirse en teorías o leyes científicas se detectó que para el conjunto de futuros profesores de ciencias las leyes presentan un estatus epistemológicamente superior al de las teorías. Esta percepción revela un carácter lineal en el crecimiento del conocimiento científico donde primero se enuncian unas hipótesis, posteriormente, se formulan unas teorías y, finalmente, se plantean las leyes. Por tanto, en este aspecto es posible inferir la presencia de ideas empiro-positivas donde a partir de un paso A, se sigue uno B, y así sucesivamente hasta llegar a la verdad.

Provisionalidad del conocimiento científico. La cuestión evaluada es la siguiente: *Aunque las investigaciones científicas se hagan correctamente, el conocimiento que los científicos descubren con esas investigaciones puede cambiar en el futuro (C90411).*

El rasgo predominante en lo que respecta a la provisionalidad del conocimiento científico es la inconsistencia, lo cual se refleja en la idea, según la cual, este grupo de futuros profesores de ciencias en su mayoría concibe que la ciencia cambia, pero posteriormente matizan esta afirmación considerando que el conocimiento científico simplemente parece cambiar.

La naturaleza de las suposiciones en el progreso científico. La cuestión evaluada fue: *(C90521) Cuando se desarrollan nuevas teorías o leyes, los científicos necesitan hacer algunas suposiciones sobre la naturaleza (por ejemplo, que la materia está hecha de átomos). Estas suposiciones tienen que ser verdaderas para que la ciencia progrese adecuadamente.*

Aquí, se establecen como conclusiones, por un lado, que existen concepciones adecuadas en el conjunto de futuros profesores de ciencias sobre la necesidad de los científicos para hacer suposiciones,

es decir, que las presunciones que estos realizan son insoslayables para que la ciencia avance. Al mismo tiempo, se detectaron inconsistencias en lo referente a la naturaleza de dichas suposiciones. Así, en principio, se destacó que para estos las suposiciones siempre tienen que ser verdaderas, lo cual se contrapone a la idea según la cual si no hacen suposiciones verdaderas las leyes o teorías científicas no son correctas y por lo tanto se puede considerar que los científicos perderían su tiempo.

Toma de decisiones. Se evaluó la cuestión (C70221) que plantea: *Cuando se propone una nueva teoría científica, los científicos deben decidir si la aceptan o no. Su decisión se basa objetivamente en los hechos que apoyan la teoría; no está influida por sus sentimientos subjetivos o por motivaciones personales.*

La variedad de valoraciones permite afirmar la presencia de inconsistencias en el grupo de futuros profesores de ciencias. En algunos casos se considera la existencia de una subjetividad personal, inevitable en la toma de decisiones y, en otros, no. Sobre este asunto, se resalta la preponderancia que se le otorga a los hechos para tomar decisiones, es decir, que a la hora de seleccionar qué teoría o ley es la mejor, son más importantes las apreciaciones que se derivan del uso de los sentidos que la construcción de argumentos.

Relación ciencia - realidad: los modelos científicos. La cuestión relacionada es la C90211 que plantea: *Muchos modelos científicos usados en los laboratorios de investigación (tales como el modelo del calor, el de las neuronas, del ADN o del átomo) son copias de la realidad.*

Finalmente, se abordó la relación que existe entre la ciencia y la realidad. Al respecto, el rasgo general que también se puede establecer es la inconsistencia. Primero, al considerar que un modelo no representa de manera fidedigna la realidad y después al estar de acuerdo con lo contrario, o viceversa. Además, porque consideran que estos son verdaderos pero que simultáneamente tiene poco poder explicativo.

Medición presión, volumen y proceso de construcción histórica del aire

En lo que respecta a los modelos mentales expresados sobre la medición de la presión y el volumen del aire e, igualmente, acerca de su proceso de construcción histórica que está signado por las discusiones alrededor de la idea de vacío, también se hallaron elementos sobre la NdC. De esta manera, la investigación que se realizó presentó como elemento destacado la articulación entre dominios de contenido científico y aspectos que se relacionan directamente con la NdC. Por ejemplo, la mayoría de futuros profesores de ciencias expresaron sus modelos mentales iconográficos sin las respectivas unidades de medición. Veamos un ejemplo.

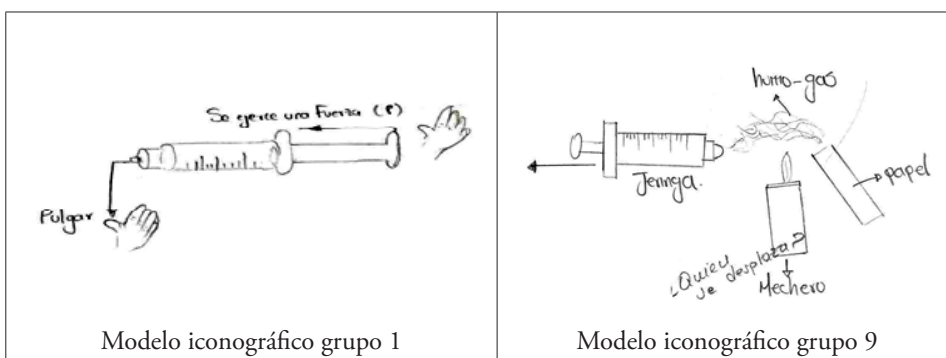


Fig. 7. Representaciones iconográficas.

En el ámbito específico de la Física como ciencia un asunto central es la idea de la medición, para lo cual es indispensable establecer una correspondencia entre las cantidades físicas y sus respectivas unidades. Si el objetivo consistía en medir la presión y el volumen del aire era necesario expresar estas en Pascales (Pa) y cm^3 , cc o ml, respectivamente. A pesar que esto no se relaciona expresamente con la NdC en sentido genérico, es un rasgo particular del conocimiento físico en el que se circunscribe el presente trabajo. Lo anterior es fundamental, además, debido a que en términos del lenguaje que utiliza la ciencia las comunidades científicas buscan comunicar con precisión sus puntos de vista y, el hecho de representar la situación física que se construyó alrededor de la actividad de la jeringa sin dichas unidades lo que permite es, por el contrario, la utilización de conceptos más bien vagos, difusos.

Las discusiones en torno al concepto de vacío en la historia de la ciencia permitió identificar a la experimentación como una fuente inicial de conocimiento para un grupo de futuros profesores de ciencias. Al respecto, «[...] se habló de vacío en el momento en que dejaban caer algo», «alguien decidió comprobar si en un espacio estudiado [...] podría ver algún cambio y generando un estado de vacío», «Yo creo que en la historia se supo de la existencia del vacío por medio de pruebas de sonido en cañones», «A través del barómetro, porque se generó ese espacio cuando las presiones internas y externas se igualaron».

Como se puede apreciar, estas unidades textuales reflejan la importancia de la experimentación en la actividad científica. Ahora, es necesario mencionar que la segunda cita hace referencia, además, al papel que desempeña la observación en la ciencia. Esta importancia que se le otorga tanto al trabajo experimental y a la observación plantea la necesidad de discutir sobre cuál es la fuente del conocimiento científico con el fin de introducir la idea de la carga teórica en el trabajo que realizan los científicos, aspecto que no se aborda de manera explícita en la historia de la ciencia y, que en consecuencia, se podría plantear como cuestión importante para abordar de manera explícita en la secuencia didáctica.

Otro grupo significativo de futuros profesores de ciencias, a pesar de que también mencionan que la experimentación desempeña un rol preponderante, resalta que en la historia de la ciencia se supo de la existencia del vacío «porque los seres humanos siempre nos surgen preguntas y queremos darle respuesta a estos interrogantes»; «creo que se supo debido a la curiosidad de saber»; «la necesidad de dar explicación a los diferentes fenómenos que rodean al ser humano, la curiosidad de cómo funciona el planeta». En estas apreciaciones se destaca la importancia de la curiosidad como elemento central para cultivar actitudes hacia la ciencia. Esto quiere decir que la ciencia tiene su origen en la generación de preguntas y respuestas diferentes realizadas por cualquier ciudadano del común.

Un último aspecto que se puede concluir a partir de las actividades realizadas durante la fase I consiste en la importancia que se le otorgó a los errores en la actividad científica. Así, se supo de la existencia del vacío *por error, experimentando o estudiando algún tipo de fenómeno por equivocación*. A pesar del énfasis que se hace en la experimentación, lo importante aquí es que subyace una noción de ciencia como una práctica humana y, por ende, falible, con aciertos y desaciertos.

Fase II. En esta fase se desarrolla la secuencia didáctica compuesta por los cuentos mencionados. Para el análisis se retoman los registros hechos de manera individual y conjunta derivadas del desarrollo de cada una de las actividades formuladas. La figura 8 corresponde con una red semántica que representa los principales hallazgos en término de los elementos de la NdC que sobresalieron en su desarrollo.

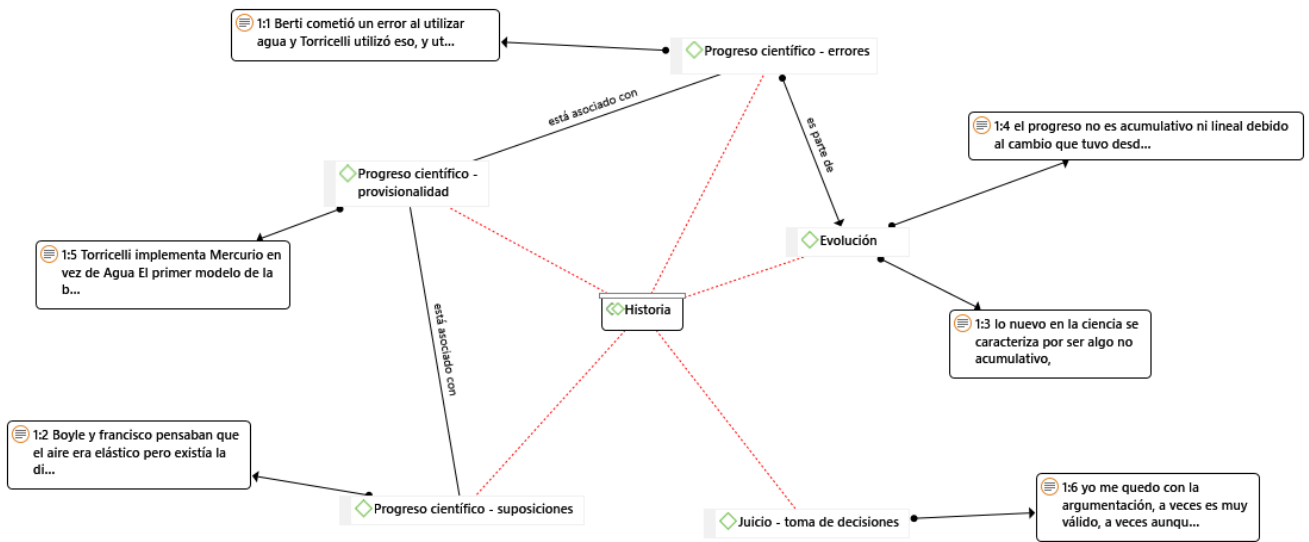


Fig. 8. Principales aspectos encontrados en la fase II.

Lo primero que se infiere, a la luz de la unidad textual 1:1 es el rol de los errores en la ciencia. El error como algo inherente a la práctica científica puede significar avance, no siempre retroceso y, además, devela el carácter humano de esta. Otro elemento destacado en el ámbito de la historia de la ciencia es el que hace referencia al papel de las suposiciones en el progreso científico, lo cual fue abordado a partir de un pasaje histórico que se produjo en la lectura III, de tal modo «Boyle y Francisco pensaban que el aire era elástico, pero existía la diferencia de que Boyle suponía que el aire era muy elástico, a diferencia de Francisco quien pensaba que el aire no podía estirarse tanto como lo suponía Boyle» (1:2)

En lo relacionado con la categoría de evolución se afirmó que el crecimiento del conocimiento científico no es acumulativo ni lineal, tal como se corrobora en las citas 1:3 y 1:4. Sobre la idea de cambio en la ciencia, que está muy relacionado con las características que presenta el progreso científico es importante destacar el carácter provisional del conocimiento científico. Así, la secuencia permitió establecer cómo a través del tiempo las ideas van cambiando. A manera de ejemplo, se presenta la reflexión del grupo n.º 2 de trabajo:

Toricelli implementa mercurio en vez de Agua
El primer modelo de la bomba de vacío obtenía un equilibrio de pesos, el segundo modelo obtiene un equilibrio entre la fuerza de gravedad y la elasticidad del aire
Roverbal implementa en el experimento de Torricelli una vejiga natatoria
Grupo 2

Lo anterior significa que el conocimiento científico es provisional y, por ende, dinámico. Fue posible evidenciar avances también en lo relacionado con la categoría de juicio y, en particular, sobre la toma de decisiones y criterios de selección, de acuerdo con la cita 1:6. Es de resaltar el uso de la razón sobre la experiencia, esto significa que lo prioritario es la elaboración de argumentos.

En el plano de lo sociológico la pregunta sobre por qué cree que en la lectura III se formula el interrogante de quien formuló la ley de Boyle, fue útil para mencionar que la ciencia no es un empeño

individual, pues «hubo muchos autores que ayudaron a la formulación de la ley, hasta uno se pregunta, verdad fue Boyle el que se le atribuyó tal ley». Estas citas destacan que en la construcción histórica de la Ley participaron diferentes personas y que, por tanto, esta fue producto de un esfuerzo colectivo.

Finalmente, a nivel epistemológico, la discusión sobre el espacio que se crea por encima de las columnas de agua y mercurio en los trabajos de Berti y Torricelli, respectivamente, fue fructífero para adentrarse en el tópico de la carga teórica de las observaciones. De tal forma, *el experimento de Berti dio origen a dos argumentos muy diferentes entre atomistas y aristotélicos en la existencia del vacío*. Este fragmento deja en evidencia que ante un mismo fenómeno físico son posibles diferentes interpretaciones.

Fase III. El objetivo de esta tercera fase consistió en contrastar los hallazgos de la fase I para determinar la incidencia de la secuencia didáctica en la evolución de las concepciones de NdC. De este modo, se aplicaron las mismas preguntas que se aplicaron en el COCTS en un primer momento. Lo que primero se destaca es que más del 60 % de conjunto de futuros profesores de ciencias es consistente en lo adecuado respecto al papel de los errores en el progreso científico pues existe una postura mayoritaria que considera a los errores como algo inherente a la práctica científica, que adicionalmente no se constituyen en algo negativo en el sentido de perjudicar el progreso o avance en la ciencia. Esta percepción revela que la empresa científica es una actividad humana, plagada de acierto y también de desaciertos.

Respecto a la relación entre ciencia y realidad, se destacan avances acerca de la importancia de delimitar el estudio del mundo físico para su posterior representación, aspecto esencial en la visión semántica de ciencia. En contraste, se percibió poco cambio respecto al estatus que se le otorgan a las leyes y a las teorías científicas, lo cual, se presume, es una consecuencia de posturas de raigambre empiropositivas muy arraigadas que se han formado no solamente de manera implícita, sino además por el tipo de prácticas de corte eminentemente experimentalista que no permiten reflexionar sobre la fuente del conocimiento científico y la idea de la carga teórica de la observación y la experimentación.

Igualmente, es válido resaltar que la aplicación del COCTS en este segundo momento fue útil para comprender que se presentó un aumento, por un lado, en el número de profesores que consideran que la ciencia produce un tipo de conocimiento que no es estático, sino dinámico y, por otro lado, en los profesores que son consistentes en estas concepciones adecuadas porque expresan que el conocimiento antiguo puede ser interpretado de forma diferente, siendo susceptible al cambio.

Otro avance significativo se produjo en el ámbito de la naturaleza de las suposiciones en el progreso científico. Así, el grupo de futuros profesores de ciencias presenta aquí como rasgo principal la presencia de concepciones adecuadas en lo que atañe a la naturaleza de las suposiciones en el progreso científico, dado que no valoraron de manera negativa la presencia de las suposiciones equivocadas en el progreso científico. Esta percepción coincide con el reconocimiento por parte del grupo de futuros profesores de ciencias en torno a la idea según la cual los errores no significan perjuicio o retroceso en la ciencia.

A pesar de que el instrumento aplicado en esta fase final evidencia valoraciones inconsistentes en lo que se refiere a los sentimientos subjetivos y a las decisiones personales, este trabajo de intervención didáctica permitió, en el plano de lo sociológico, apreciar avances en otros sentidos tales como la participación de diferentes personas en la construcción histórica de la ley, resaltando la importancia de concebir la ciencia como una actividad de carácter eminentemente colectivo.

A partir del análisis de las unidades de contenido que se han seleccionado y de las diferentes actividades que se realizaron se puede concluir que la secuencia didáctica permitió evidenciar evolución en diversos tópicos de la NdC tales como la importancia de las suposiciones en el progreso científico, reconociendo que estas no siempre tienen que ser verdaderas; también se destacó la relevancia de los errores en la práctica científica y el papel de las comunidades científicas, toda vez que la ciencia es un esfuerzo humano de carácter colectivo. Además, se hizo alusión a que el conocimiento en la ciencia

no crece de manera lineal ni acumulativa y que el tipo de conocimiento que proviene de la ciencia se caracteriza por la provisionalidad.

Ahora bien, a la par de esta evolución en las concepciones de NdC se establece también a manera de corolario que la secuencia presentó riqueza didáctica desde el punto de vista del trabajo cooperativo en el grupo de expertos. De este modo, se potenciaron diferentes aspectos tales como la creatividad y la imaginación, aspectos necesarios en los procesos de tipo científico; igualmente sobre el trabajo independiente, dado que se generaron ambientes de aprendizaje donde de manera autónoma cada sujeto debía pensar qué actividad iba a desarrollar el contenido del cuento que le fue asignado y, finalmente, acerca del trabajo colectivo pero con responsabilidades individuales de tal forma que si un integrante del grupo no asumía sus compromisos con responsabilidad los demás miembros de su pequeña comunidad de aprendizaje constituida se verían afectados.

CONCLUSIONES

Las implicaciones de este abordaje histórico de la Ley de Boyle son variadas para el aprendizaje de la naturaleza de la ciencia (NdC) en los futuros profesores de ciencias. Y se constituyen, al mismo tiempo, en una contribución para la enseñanza de la física. Primero, el material básico de la ciencia no es la observación, la experimentación, ni las formulaciones de tipo sintáctico en la elaboración de las leyes y teorías científicas; son más importantes los estudios históricos como parte de la actividad científica.

Segundo, las teorías y leyes como modelos con trayectoria no son universales; por tanto, las verdades son verdades dentro del modelo. Tercero, esta propuesta facilita el aprendizaje porque los futuros profesores de ciencias tienen un contexto histórico en el cual la ley de Boyle fue desarrollada, lo cual implica reconocer los procesos reticulares de construcción científica propios de la actividad humana, alejado de la idea de concebir la ciencia como un empeño individual.

Adicionalmente, se permite relacionar el interés de la física por estudiar fenómenos de la naturaleza; para el caso particular el aire, es decir, se relaciona el estudio de la física con sucesos que se presentan en la realidad. Igualmente, se establecen elementos particulares relativos al conocimiento físico tales como la matematización y la naturaleza experimental de una ley física, expresada en la relación entre la presión y el volumen, y, en última instancia, el estudio de ámbitos específicos relacionados con el mundo natural.

En síntesis, este trabajo permitió comprender aspectos relacionados sobre la ciencia e, igualmente, desarrollar conocimientos conceptuales y teóricos propios de la Física. Es decir, ubicarse sobre y en la ciencia. Además, posibilita que los futuros profesores de ciencias se inmiscuyan en el estudio histórico de la ley de Boyle, lo cual posibilita la formulación de sus propios modelos que, al ser expresados y posteriormente consensuados, generan actitudes que favorecen la formación científica y ciudadana al reconocer que es posible encontrar modelos mejor sustentados.

REFERENCIAS

- Alonso, A. V., Manassero, M. A., Acevedo, J. A. y Acevedo, P. (2007). Consensos sobre la naturaleza de la Ciencia: la comunidad tecnocientífica. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 6 (2), 331-363.
<http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2007.1.65976>
- Arana, M. (2005). La educación científico-tecnológica desde los estudios de ciencia, tecnología, sociedad e innovación. *Tábula Rasa*, 3, 293-313.
<https://doi.org/10.25058/20112742.239>

- Bennàsar, A., García-Carmona, A., Vázquez, A., Manassero, M. A. y Montesano, M. (2010). ¿Aportan algo los estudios universitarios de grado a la comprensión de la NdCyT? En A. Bennàsar, A. Vázquez, M. A. Mannassero y A. García-Carmona (Coords.), *Ciencia, tecnología y sociedad en Iberoamérica: Una evaluación de la comprensión de la naturaleza de ciencia y tecnología* (pp. 129-138). Madrid: Centro de Altos Estudios Universitarios, OEI. Obtenido de <http://www.oei.es/salactsi/DOCUMENTO5vf.pdf>
- Berta, M. F. (2005). La Naturaleza de la Ciencia: una asignatura pendiente en los enfoques CTS. En P. Membiella y Y. Padilla (Eds.), *Retos y perspectivas de la enseñanza de las ciencias desde el enfoque ciencia-tecnología y sociedad* (pp. 35-38). Educación Editora. Obtenido de <http://aia-cts.web.ua.pt/wp-content/uploads/2013/07/RetosyperspectivasCTS.pdf>
- Boyle, R. (1682). *New experiments physico-mechanical touching the air*. Londres: University of Oxford. <https://doi.org/10.3931/e-rara-16019>
- Cardoso, N., Chaparro, N. y Erazo, D. (2006). Una revisión sobre la naturaleza de las concepciones de ciencia. *Revista Itinerantes*, (4), 95-101.
- Cardoso, N. y Morales, E. (2012). Didactic unit for the teaching of a topic of Nature of Science and Technology (NoS&T) to teachers of science information in the context of the EANCYT Project. En *Anais do II Seminário Hispano Brasileiro-CTS* (pp. 91-104). Obtenido de <http://revistapos.cruzeirodosul.edu.br/index.php/rencima/article/viewFile/378/316>
- Castro, E. y Sehk, P. (1997). *Más allá del dilema de los métodos*. Bogotá: Norma.
- Chaparro, N. y Rojas, W. (2009) *Análisis de las concepciones de naturaleza de la ciencia presentes en la serie de textos ingenio científico*. Texto inédito.
- Couso, D. (2005). Estudio de la electrostática: leyendo «historias» de historia de la ciencia. En D. Couso, E. Cadillo, G. E. Perafán y A. Adúriz-Bravo (Eds.), *Unidades didácticas en ciencias y matemáticas* (pp. 261-300). Bogotá: Cooperativa editorial Magisterio.
- Flick, L. y Lederman, N. (2010). Scientific Inquiry and Nature of Science: Implications for Teaching, Learning, and Teacher Education. *Science and Education*, 1-7. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5814-1>
- Guisasola, J. y Morentin, M. (2007). Comprenden la naturaleza de la ciencia los futuros maestros y maestras de Educación Primaria. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 6 (2), 246-262. Obtenido de http://reec.webs.uvigo.es/volumenes/volumen6/ART2_Vol6_N2.pdf
- Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24 (2), 173-184. Obtenido de http://www.cad.unam.mx/programas/actuales/especial_maest/maestria/ff_cn_1aE/00/02_material/archivos/10_justimodelos2006.pdf
- Leal, A. (2010). *Caracterización de las concepciones sobre naturaleza de las ciencias en los estudiantes del programa Licenciatura en Educación Básica con énfasis en Ciencias Naturales y Educación Ambiental de la Universidad del Tolima*. Tesis de pregrado, Tolima, Universidad del Tolima.
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalic, F., Bell, R. L. y Schawrtz, R. (2002). Views of Nature of Science Questionnaire: Toward Valid and Meaningful assessment of learners' Conceptions of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39 (6), 497-521. <https://doi.org/10.1002/tea.10034>
- Marradi, A., Archenti, N. y Piovani, J. (2007). *Metodología de las ciencias sociales*. Buenos Aires: Emecé.
- McComas, W. y Olson, J. (1998). The nature of science in international science education standards documents. En W. McComas (Ed.), *The nature of science in science education. Rationales and strategies* (pp. 41-52). Dordrecht: Kluwer. https://doi.org/10.1007/0-306-47215-5_2
- Morales, E. (2010). *Relaciones entre las concepciones de Naturaleza de Ciencia y de modelo científico en profesores de ciencias naturales*. Tesis de maestría. Universidad de Tolima.

- Nersessian, N. (2001). Razonamiento basado de modelos y cambio conceptual. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 4(3), 563-570.
https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2007.v4.i3.14
- Rivas, L. y Aristizábal, L. (2005). ¿Cuál es la concepción de ciencia que se refleja cuando los maestros de ciencias naturales organizan los contenidos a enseñar? *Revista tecné, epistemé y didaxis*, 25, 366-374.
<https://doi.org/10.17227/01203916.254>
- Webster, C. (1965). The Discovery of Boyle's Law, and the Concept of the Elasticity of Air in the Seventeenth Century. *Archive for History of Exact Sciences*, 2. <https://doi.org/10.1007/bf00324880>

Nature of science and history of Boyle's law in pre-service science teachers

Alejandro Leal Castro

Universidad Santiago de Cali, Facultad de Educación. Santiago de Cali, Valle del Cauca, Colombia
alejandro.leal00@usc.edu.co

Edna Eliana Morales Oliveros

Universidad del Tolima, Facultad de Ciencias de la Educación. Ibagué, Tolima, Colombia
emoraleso@ut.edu.co

This paper aims to study the evolution of ideas concerned to the category nature of science (NoS) in a group of fifteen Colombian pre-service science teachers. For doing so, a didactic sequence was designed and applied which tied up the history of Boyle's law along with some topics related to NoS, mainly, the role of mistakes in scientific progress, the status of scientific theories and laws, the tentativeness feature of the scientific knowledge, the nature of the assumptions in the scientific progress, decision-making and the link between science and reality.

In order to study the history of Boyle's law, a distinction was made between three historical models, such as the philosophical controversy about the vacuum, the interest for the experimental vacuum production and, finally, the design of the air pump and the works of Boyle about the air pressure. Those were introduced to the pre-service science teachers through three narrative stories, each one with their guided questions.

At the beginning, the ideas of the NoS in our group were identified. For this purpose, a questionnaire named Views on Science – Technology – Society (VOSTS) was applied. In addition, the mental models about how to measure the pressure and volume of the air were also described. After the application of the didactic sequence it was highlighted that the majority of people considered errors as underlying the scientific practice. Regarding the relationship between science and reality, the importance of studying the physical world by means of its representation and delimitation was set off. It is also relevant to say that the application of our activities made it possible to improve the ideas about the different ways for interpreting scientific knowledge. Finally, we found other aspects like the role of collective working and the influence of personal decisions in the scientific enterprise. In contrast, the pre-service science teachers still considered that the laws are empirically better than theories.

All of those findings made it possible to state the implications of this historical approach for the learning of the NoS in the pre-service science teachers group. First, the material basic of the scientific activity are the models as an important representation of the world, not the syntactic type formulations. Secondly, the scientific enterprise is a collective effort, more than individual commitment. Third, the science as a human enterprise is full of errors and successes; the former ones are crucial in scientific progress. Besides, some aspects were established which belong to physics, among others, the mathematization and the experimental nature of a physical law. To sum up, this article made the key role of the history of science evident so as to learning inside and outside the science, that is, its outcomes and processes.

