



Preguntas disruptivas para fundamentar la actividad científica escolar mediante el análisis de algunos ejemplos

- Disruptive Questions to Ground School Scientific Activity through the Analysis of Some Examples
- Perguntas disruptivas para apoiar a atividade científica da escola através da análise de alguns exemplos

Resumen

El presente artículo de reporte de caso educativo presenta una serie de preguntas disruptivas que buscan cuestionar la actividad científica natural desde la ciencia escolar. Se espera que los maestros enriquezcan su retórica al momento de interpretar y explicar los acontecimientos científicos tratados en el aula. Esto a partir del análisis de algunos casos sucedidos en la historia de las ciencias, por ejemplo, sobre la naturaleza de la materia, el concepto de vacío, la teoría de los gases, y el modelo matemático de Dirac, a partir de conceptos como verdad, hecho científico, fenómeno y experimentación, en el marco de un seminario doctoral, desde la perspectiva metodológica de la investigación acción participativa, la relatoría y grabación de las discusiones como instrumentos de recolección de la información. Finalmente, se considera que los profesores deben asumir una concepción de ciencia como producto cultural que permita la problematización del mundo a través de la construcción e implementación de modelos científicos escolares. Es precisamente al momento de construir dichos modelos que se hace necesario formular las preguntas realizadas en esta disertación.

Palabras clave

ciencia escolar; experimentación; fenómenos; hechos; preguntas disruptivas; verdades

Abstract

This research article presents a series of disruptive questions that seek to question natural scientific activity from school science. Teachers are expected to enrich their rhetoric when interpreting and explaining scientific events discussed in the classroom. This is based on the analysis of some cases that have occurred in the history of science, for example, on the nature of matter, the concept of vacuum, the theory of gases, and Dirac's mathematical model, based on concepts such as truth, scientific fact, phenomenon, and experimentation, within

John Andersson Gómez Soto*

* Doctorando en educación, énfasis: educación en ciencias, Universidad del Valle, Cali; docente de biología y química, INEM Jorge Isaacs, Santiago de Cali (Magisterio Colombiano). Correo electrónico: asesorpae@gmail.com. Código Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-0005-5664>



the framework of a doctoral seminar, from the methodological perspective of participatory action research, the reporting and recording of discussions as instruments for collecting information. Finally, it is considered that teachers must assume a conception of science as a cultural product that allows the problematization of the world through the construction and implementation of school scientific models. It is precisely at the time of building these models that it is necessary to formulate the questions posed in this dissertation.

Keywords

disruptive questions; experimentation; facts; phenomena; school science; truths

Resumo

Este artigo de pesquisa apresenta uma série de questões disruptivas que buscam questionar a atividade científica natural das ciências escolares. Os professores devem enriquecer sua retórica ao interpretar e explicar eventos científicos discutidos em sala de aula. Baseia-se na análise de alguns casos ocorridos na história da ciência, por exemplo, sobre a natureza da matéria, o conceito de vácuo, a teoria dos gases e o modelo matemático de Dirac, baseado em conceitos como a verdade, fato científico, fenômeno e experimentação, no âmbito de um seminário de doutorado, na perspectiva metodológica da pesquisa-ação participativa, o relato e o registro das discussões como instrumentos de coleta de informação. Por fim, considera-se que os professores devem assumir uma concepção de ciência como um produto cultural que permite a problematização do mundo por meio da construção e implementação de modelos científicos escolares. É justamente no momento da construção desses modelos que se faz necessário formular as questões colocadas nesta dissertação.

Palavras-chave

ciências da escola; experimentação, fatos, fenômenos, perguntas disruptivas, verdades

Introducción

La siguiente investigación hermenéutica corresponde a los aportes tomados del seminario doctoral. La actividad experimental en la enseñanza de las ciencias naturales, cuyo objetivo es analizar la actividad experimental desde las diferentes corrientes filosóficas de la ciencia, teniendo en cuenta su influencia en los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias naturales, a partir de la incidencia que tienen los libros de texto en la formación profesional de los futuros maestros (García et ál., 2017), esto desde la formulación de preguntas disruptivas que estarán precedidas del símbolo asterisco* (Anexo 1) invitando a la reflexión de la actividad científica natural, desde la actividad científica escolar, entendida aquí como un complejo sistema que requiere en esencia de conocimientos teórico-prácticos para la construcción de modelos científicos en el aula (Adúriz-Bravo et ál., 2009).

La hipótesis de este trabajo consiste en que en la medida de que los maestros se formulen este tipo de preguntas (las disruptivas), enriquecerán su repertorio discursivo para el desarrollo de la actividad científica escolar en el aula propendiendo así por la construcción de un conocimiento sabio dejando atrás el conocimiento enciclopédico (Izquierdo, 2005). Esto quiere decir que, para desarrollar alguna actividad científica escolar en el aula no basta con poseer conocimientos disciplinares únicamente, donde la disciplina siempre ha sido considerada el conocimiento fundante que constituye los saberes académicos de los profesores, configurando así un falso problema didáctico (Perafán, 2013), sino que se debe tener la experticia para formular cuestionamientos que puedan incitar a los docentes-investigadores a asumirlas tratando de darles respuesta, o incluso, desglosándolas en más preguntas específicas, generando nuevas

discusiones al respecto, siendo esto de gran valor al momento de construir y desarrollar la actividad científica escolar en el aula.

Antecedentes

Adúriz-Bravo et ál. (2009) destacan que los maestros desarrollan una auténtica actividad científica en su necesidad de tomar decisiones, fundamentarlas, compararlas, tratando de comunicarlas, gestionándolas para lograr los objetivos deseados. También dicen que la tarea de los maestros de ciencias es similar a la de los científicos, ya que las teorías son las representaciones específicas de la ciencia, las cuales están conformadas por modelos teóricos y dominios de fenómenos, algo que también realizan los profesores de ciencias en sus aulas al tratar de dar significado o sentido al mundo desde las teorías científicas.

Lo anterior requiere de complejos procesos semánticos, pragmáticos y retóricos, también plantean que las teorías científicas contienen “hechos interpretados”. Dichos hechos interpretados están constituidos por una familia de modelos que están vinculados lógicamente y experimentalmente; análogamente, lo mismo sucede en el aula, con el atenuante de que los maestros deben construir modelos explicativos que permitan la comprensión de sus estudiantes sobre el funcionamiento del mundo. Estos modelos explicativos son significativamente diferentes a los de la ciencia erudita (o ciencia natural), debido a que son modelos científicos escolares basados en modelos científicos naturales y están compuestos por campos del saber como la pedagogía, la filosofía, la historia, la lingüística, la psicología, etc. De acuerdo con lo anterior, estos autores plantean que la relación retórica de las explicaciones dentro de la actividad científica escolar con los fenómenos naturales estudiados depende de los modelos que en esencia son contruidos por los maestros.

Justi (2006) plantea algunas pistas sobre el origen de la construcción de los modelos científicos con el fin de fundamentar posibles explicaciones sobre la forma como se lleva a cabo la elaboración de modelos en la enseñanza de las ciencias; por ejemplo, destaca que los textos científicos raramente describen el proceso de construcción de los modelos que componen las diversas teorías. Para este caso, la formulación de preguntas problematizadoras o cuestionantes, lo cual se puede interpretar como algo para lo que no existen reglas específicas y, por tanto, esto es un proceso innato o tácito, que debe ser aprendido y no enseñado, planteándolo como un ejercicio creativo, como si fuera una especie de arte.

Gallego et ál. (2006) realizan afirmaciones críticas sobre la manera como se están formando los maestros, manifestando carencias de tipo pedagógico, quienes sostienen que la actividad didáctica en el aula no produce el efecto esperado debido a la formación científica de los futuros profesores limitada a la transmisión verbal, constituida principalmente por definiciones de conceptos y algoritmos. Además, que los profesores universitarios no han sido formados en el marco de problemas histórico-epistemológicos sobre la construcción, desarrollo, modificación y sustitución de los modelos científicos, lo que los lleva a enseñar una ciencia enciclopédica.

Reinders (2006) plantea la necesidad de desarrollar investigaciones pertinentes dentro de la enseñanza de las ciencias dada su complejidad, manifestando que dichas investigaciones no solamente deben hacerse sobre la base de lo que funciona en el aula, sino que deberían incluir métodos que permitan conocer el estado actual de las prácticas educativas, para esto propone algo llamado: “Modelo de Reconstrucción Educativa”, que está conformado por tres componentes: 1) análisis de la estructura de los contenidos, 2) la investigación sobre enseñanza y aprendizaje, 3) el desarrollo de la evaluación de la enseñanza. Este coincide con los autores anteriores en que la cultura de la investigación en educación y enseñanza de las ciencias es la culpable de que sus resultados no tengan el impacto esperado sobre las prácticas pedagógicas, es decir que, con la aspiración de ganar estatus en un medio elitista, estas producciones se han alejado de la realidad de las aulas y por tanto de sus problemas más relevantes, como en este caso, la actividad científica escolar.

El sistema de conocimientos que poseen los docentes de ciencias y la manera como estos ejecutan sus acciones desde unas limitaciones o virtudes determinadas por el contexto social y cultural, configuran un complejo entramado que requiere en esencia de conocimientos teórico-prácticos para la construcción de representaciones explicativas que permitan *cuestionar* la ciencia a través de preguntas, en este caso disruptivas, como se desarrolla en la siguiente propuesta conceptual.

Marco conceptual: verdades, hechos científicos y algunas tensiones

*¿Qué es lo que se dice en nombre de la ciencia que tiene una verdad que la respalde? Quienes han hablado en el nombre de la ciencia: *¿Qué tipos de verdades científicas dicen?, *¿hasta dónde las verdades científicas se soportan en el tiempo? El dilema está en que existen algunas cosas que se dicen en nombre de la ciencia y que solo por esto se piensa que ya tiene alguna validez; de allí la famosa frase *está científicamente comprobado*. Hoy en día se sabe que el término “verdad” por sí mismo se entiende como algo que no amerita objeción y si obtiene el rótulo de verdad, se asume que es “así y punto”, se acepta sin discusión, es por esto por lo que de cualquier forma, la idea de que los únicos aptos para reafirmar dicha verdad o refutarla son los investigadores miembros de comunidades científicas de élite, sigue vigente al igual que el en el siglo XVIII.

No obstante, la verdad científica, aquí concebida como la congruencia entre lo que se manifiesta de forma teórica o ideológicamente con lo que se demuestra de forma práctica, tiene un *plus*, que consiste en que para que se catalogue de esta manera debe ser demostrada.¹ Si se logra demostrar lo que se está diciendo, se asume entonces que se está hablando de una verdad científica; si la demostración es avalada o aceptada por una comunidad dentro de la respectiva empresa científica, entonces se habrá logrado una aceptación y dichos miembros avaladores otorgarán un estatus.

A partir de lo anterior, surgen una cantidad de preguntas problematizadoras, que vinculan directamente la concepción de verdad con las

acciones en el aula, por ejemplo: *¿Cuáles son las verdades que tienen los maestros desde sus propios campos de formación? Otras cuestiones pertenecientes a un análisis más fundamental podrían ser: *¿Cuándo algo está demostrado? O más bien *¿Cuándo se demuestra algo? y, *¿qué papel juega la experimentación en los procesos de demostración? Según Guerrero (2012), la experimentación no se limita a la observación, puede ser motivada por diversos factores como la exploración o la búsqueda de evidencia que anteriormente se postuló a través de teorías. Experimentar también incluye procesos que dan cuenta de técnicas, diseños, construcción, uso y comprobación de instrumentos, control de factores o variables, distinción de consecuencias reales de las artificiales, análisis de datos, realización de cálculos. Así, el conocimiento experimental cuenta con su propia permanencia, sobreviviendo a grandes evoluciones teóricas de alto nivel. Los acontecimientos experimentales (en particular la estabilización de una regularidad fenomenológica) perduran ante los cambios de las teorías (Guerrero, 2012).

Ahora bien, cuando se analiza una demostración no solamente se observa una actividad experimental que logra convencer al otro sobre lo que es una posible verdad, sino que también se puede demostrar matemáticamente, siendo la matemática un lenguaje sistemático y consistente que da cuenta de unos hechos. Si la verdad científica es dinámica y cambiante, se presume entonces, que antes lo que se decía que era cierto hoy es diferente, entonces viene el interrogante sobre: *¿Se debe enseñar lo último que se sabe sobre un respectivo conocimiento?, *¿cuál es el sentido de hablar de algo que ya ha sido superado?, *¿hasta qué punto la verdad es simplemente un concepto actualizado?

Para encontrar algunas pistas al respecto, cabe decir que la verdad no responde a las formas históricas lineales del devenir. Con

¹ Es decir que la demostración en este punto marca una de las tantas funciones que tiene la experimentación (Guerrero, 2012; Hacking, 1983) como aspecto coprotagonico en la construcción de las “verdades científicas”.

relación a esto, vale la pena mencionar que una de las formas de mostrar la verdad más predominante en la educación científica es la verdad como correspondencia desde un enfoque aristotélico, donde se asume como algo que debe ser descubierto y aprehendido, que no es el ser humano quien la construye a partir de su lenguaje, sino que la verdad ya está preestablecida en la naturaleza de las cosas (Alonso, 2011). A esta forma predominante de verdad por parte de los positivistas y falsacionistas, Tarski complementa con el verificacionismo de lo preestablecido, que consiste en comprobar la existencia de lo que se ha expresado del mundo en el mundo mismo (Alonso, 2011). Es decir, si se afirma que “el cielo es azul”, para determinar que dicha afirmación es verdadera, se debe verificar que efectivamente, este sea azul. Luego esta forma de expresar las verdades contienen serias limitaciones debido a la dificultad que tiene predeterminar el lenguaje y el mundo, debido a sus constantes cambios y transformaciones (Alonso, 2011).

Otra vertiente para la concepción de verdad radica en la verdad como coherencia. Aquí se realiza una separación entre mundo y sujeto, donde el objetivo es conocer dicho mundo en el cual el sujeto está inmerso. En este proceso de conocimiento del mundo es en el que se pone en duda la objetividad y neutralidad de la ciencia, debido a que no todos los sujetos tienen la misma forma de concebirlo y enunciarlo, adquiriendo una visión psicologista del asunto (Alonso, 2011). Igualmente se plantea que el lenguaje con el que se enuncian las “verdades” depende del conocimiento del mundo físico y que la manera de enunciar dicho conocimiento concuerde con el resto de afirmaciones. Sin embargo, con respecto a esto aún no hay consensos, por ejemplo, para algunos investigadores, si bien el mundo está sujeto a interpretaciones, lo cual lleva a una subjetivación de la verdad, existe algo común a todos, *los fenómenos* (Alonso, 2011). Es decir, desligan a los fenómenos de sus interpretaciones, mientras que para otros pensadores, lo observado va ligado a lo interpretado y manifiestan que es muy difícil distinguir entre “lo que es” y “lo que parece ser”. Frente a este panorama, ¿Cómo se construye entonces la certeza y la seguridad de lo conocido?

Lo anterior ha generado una tensión entre el verificacionismo y la no contradicción o coherencia, dado que se piensa que se deja a un lado uno para acceder al otro respectivamente. Pero: ¿Existirá una forma de construir verdades que articulen aspectos verificacionistas con características propias de la coherencia al momento de ser enunciadas? Esto evidencia el lugar de la epistemología en toda actividad en la que se formulen explicaciones intentando dar cuenta de cómo funciona el mundo, donde la ciencia escolar no es ajena a esto. Lo cual lleva a la siguiente cuestión por inferencia transitiva: ¿Hasta qué punto las personas que demuestran una comprensión conceptual de ciertos campos, saben cómo se ha construido el conocimiento que creen dominar? En caso de no saber cómo se ha construido el conocimiento con el que demuestran tener cierta destreza ¿Se podría afirmar que en realidad no hay un entendimiento? y entonces ¿Cuál es conocimiento que se valida o el actualmente validado?, ¿qué es lo que se estabiliza históricamente para decir que la ciencia progresa y

que la ciencia es desarrollo?, *¿qué es lo que se estabiliza en términos de verdades?, *¿qué es lo que hace pensar que eso que está allí se pueda decir que “no cambia”?

Una pista para responder algunas de las preguntas anteriores radica en el “fenómeno”, concebido aquí como patrones apreciables de la naturaleza y las sociedades; es decir, son regularidades generalizables, con estabilidad y distinción entre un conjunto de sucesos (Guerrero, 2012). Los fenómenos no son simplemente información captada por la utilización de los sentidos o percepciones y experiencias de tipo sensorial, es decir, no necesariamente son observables (Guerrero, 2012). Usualmente, estos se determinan a través de métodos experimentales, ya que entre los propósitos de la experimentación está crear, producir, refinar y estabilizar fenómenos (Guerrero, 2012).

Ahora, estabilizar experimentalmente un fenómeno es dotarlo de identidad, mostrando su repetibilidad en diferentes contextos y condiciones (Guerrero, 2012). Pero antes de eso y no menos importante, en el “hecho” a la que una persona se refiere con una intencionalidad para poner en evidencia una idea, aunque esta idea después puede cambiar. Un hecho es una forma de poner en evidencia una verdad científica, entonces, para consensuar cuál es la mejor verdad científica, es necesario construir más hechos. Sin embargo, este es otro campo complejamente problemático, debido a que según algunos investigadores, los hechos conforman lo fijo, hacen parte de lo permanente y estos son independientes de la interpretación de los investigadores. No obstante, dicha afirmación tajante sobre la independencia “hecho-interpretación” ha sido ampliamente discutida a favor y en contra a través de algunos estudios complementarios que se pueden ver en Chalmers, 1982; Fleck, 1986; Díaz et ál., 2005; González, 2007. Por ejemplo, los

hechos son manifestaciones correspondientes a un nivel de perspectiva estudiado, sobre la base de unos fundamentos experienciales y teóricos que constituyen la forma y el método con los que se detectan. A diferentes niveles de perspectiva emergen nuevos hechos y estos dan pie a nuevas o complementarias teorías que buscan explicarlos (Capra, 1996).

Según lo anterior, la autenticidad de los hechos se podría discutir ampliamente, ya que las propiedades emergentes en el estudio de los fenómenos de la naturaleza a diferentes niveles de complejidad son conferidas por quienes las estudian mediante interpretaciones; de allí que se hable de “Construcción de nuevos hechos”. En ese sentido, al ser tan amplia la gama de acepciones del término “hecho científico”, por ejemplo: como elemento de la realidad, como elemento del conocimiento o como resultado del reflejo sensorial (Díaz, 2005), es necesario no estancarse en discusiones si primero son los hechos y luego la teoría o viceversa. Ejemplos de ambos casos a lo largo de la historia pueden encontrarse en las investigaciones realizadas por Hacking (1983). Por tanto, los hechos científicos son entes que se constituyen por elementos observacionales y teóricos independientemente del orden en que se haya dado su establecimiento (González, 2007).

Metodología

Este proceso se realizó en el marco de la investigación doctoral titulada *El rol de los maestros de ciencias naturales como generador de conocimiento científico escolar*. En total fueron seis sesiones de tres horas de discusión cada una, con la participación de un grupo interdisciplinario de ocho doctorandos, donde se trabajó desde la modalidad del seminario alemán, centrado en la argumentación y el debate crítico estructurado de tal forma en la que se implementó la docencia e investigación

al mismo tiempo (Vaccarezza et ál., 2017; Uis, 2007), precisamente, a través de la formulación de las preguntas disruptivas.

La metodología investigativa utilizada en este caso es la Investigación Acción Participativa (IAP)(Cerde, 1993), ya que el investigador fue uno de los docentes que presenció y participó de las reflexiones del seminario mencionado, llevando a cabo la disertación doctoral citada. Como forma de registro de las discusiones, se usó la relatoría a modo instrumento académico-investigativo desde el enfoque propuesto por Sánchez (2016), asumiéndose como una herramienta que busca provocar la discusión grupal en torno al tema correspondiente y las preguntas formuladas, a partir de las cuales se aportaron algunos aspectos destacados a las reflexiones y análisis realizados. Dichas relatorías eran construidas por un miembro diferente en cada sesión y se leían en voz alta ante todos los participantes al principio de la sesión siguiente.

Para el análisis de la información, se realizó una triangulación entre tres fuentes documentales: las relatorías, la literatura especializada y las grabaciones de las sesiones. Estas últimas se podían descargar libremente, ya que estaban dispuestas en una plataforma digital pública después de cada sesión. A partir de este ejercicio se identificó que los nodos o núcleos de discusión fueron suscitados por la calidad y pertinencia de las preguntas disruptivas, las cuales fueron claramente identificadas y categorizadas (Anexo 1), cuyos resultados fueron la consolidación de una serie de ejemplos en los que se puede ver de manera pragmática cómo dichas preguntas pueden servir para construir una visión semántica de la ciencia desde la actividad científica escolar y sus modelos explicativos.

Resultados

Pragmatismo de las verdades, hechos científicos y sus respectivas tensiones

Los científicos a lo largo de la historia intentan construir unas verdades científicas a partir de hechos o demostraciones, generando tensiones entre la misma comunidad y personas pertenecientes a otras, por ejemplo, las comunidades religiosas, políticas, económicas entre otras; a continuación se mostrarán algunos ejemplos al respecto. Los primeros tres, tienen que ver con la naturaleza continua o discreta de la materia, los últimos dos, con el lugar de los hechos matemáticos en el desarrollo del conocimiento científico.

Ejemplo 1

Hoy en día la electricidad es enseñada como partículas o electrones que viajan, cuando en realidad existen dos tendencias muy fuertes, que son el mundo de lo discreto y el mundo de lo continuo, contruidos desde un mismo hecho, un hecho estabilizado. Pero entonces *¿Por qué convence el hecho? Básicamente porque si se repite, se obtendrán los mismos resultados y, entonces: *¿Qué es

lo que está o no estabilizado en un hecho? O ¿qué es lo que no está estabilizado en la ciencia?; para ambas la respuesta es *La explicación*. Curiosamente, lo primero que se enseña es la explicación, esto muestra pistas claras sobre cuál podría ser el camino de abordar y problematizar el estudio de un fenómeno en el aula, sin perder de vista que las teorías explicativas son lo más provisional que existe. De igual forma, en el presente se dice que el sonido que una persona percibe cuando otra le habla, es por causa de una acción que se comunica desde el hablante hasta el oído del que escucha (ideas del aire como materia continua), pero cuando dicen que hay viento, entonces la explicación es que son partículas que se mueven (ideas del aire como materia discreta); en este caso, el hecho está caracterizando una verdad, la cual va de la mano con un fenómeno que se está explicando. En este sentido, uno de los errores más comunes en la actividad científica escolar y en la formación científica de nivel superior es enseñar las ideas continuas y discretas de la materia como si fueran lo mismo.

Ejemplo 2

Otro ejemplo tiene que ver con Torricelli, quien fue el pionero en la propuesta del concepto de vacío (Herrera, 2012), lo cual generó tensiones por parte de la comunidad científica debido a las creencias del momento sobre la inexistencia del mismo, ya que este concepto era asociado a todas las formas de ausencias posibles: el silencio, la nada, el cero y, en especial, la falta de Dios (Cunningham, 2009). En esa disputa entraron Boyle y Hobbes; Boyle era un científico que afirmaba que el conocimiento de la filosofía natural debía surgir del experimento, esto lo hacía mientras seguía perfeccionando su bomba de vacío (Millares, 2003). Por otro lado, Hobbes sostenía que el asentimiento del conocimiento

debía ser total e impuesto, y que su carácter demostrativo era una consecuencia de su aceptación y, justamente, esto lo afirmaba mientras realizaba cuestionamientos de carácter técnico y conceptual a los experimentos de vacío de Boyle (Cunningham, 2009). La anterior es una clara evidencia de la relación experimentación-hecho que genera como consecuencia una tensión entre diferentes verdades. Entonces: ¿Qué fue lo que dijo Boyle?, ¿qué implicaciones tiene su concepción sobre el aire para construir su teoría? Boyle, precisamente asume el aire como si fuera un resorte, muestra una concepción continua de los gases, contraria a la idea discreta de los gases que tenían otros científicos de la época que consistía en asumir los gases en forma de partículas (Millares, 2003). Entonces, si el aire es un resorte ¿Quiere decir que se comprime y estira y no viaja a través de partículas? Esta también es una pregunta disruptiva específica que permite problematizar la ciencia dentro del aula (la ciencia escolar).

Ejemplo 3

Otro caso de tensiones sobre dos posibles verdades científicas que gozaban de demostración, son las investigaciones de John Dalton y Louis Joseph Gay-Lussac, este último a partir de sus resultados experimentales sugería que volúmenes iguales de gases diferentes, contienen la misma cantidad de átomos-partículas —en esa época no se había insertado la idea de molécula— (Gellón, 2010), pero Dalton desarrolló tres argumentos basados en el sentido común, las densidades de los gases y las proporciones de reacción para contradecir las propuestas de Gay-Lussac (Gellón, 2010). Como es apenas natural, surgió la necesidad de construir más hechos y por ende más verdades, que en este caso, fueron en gran parte asumidas por Amadeo Avogadro, quien de forma ingeniosa pudo reconciliar las teorías

de ambos frentes con nuevas proposiciones, por ejemplo, la posibilidad de que los gases estuvieran conformados por la unión de átomos de la misma clase —lo que ahora se conoce como las formas moleculares de los elementos (O_2 , N_2 , etc.) —, efectivamente para esta verdad tuvo que construir sus propios hechos.

Las tensiones en las verdades científicas producto de sus formas de ser teorizadas o experimentadas son una característica permanente y necesaria para el avance y el progreso en el estudio de la comprensión del mundo. Por ejemplo, esto se evidencia en cómo la mecánica de los medios continuos ganó adeptos como Faraday, quien desarrolló casi todos sus aportes en el estudio de la electricidad asumiéndola como un medio continuo; pero, por otro lado, la mecánica de partículas también desarrolló todo un movimiento con adeptos de gran nombre que dio origen a la electrodinámica de los cuerpos en movimiento y seguidamente a la mecánica cuántica.

Ejemplo 4

Para el caso de los físicos teóricos, *¿Se toma como un hecho demostrable la parte de la matematicidad y en encajamiento o congruencia de los modelos matemáticos propuestos con los existentes? Como justamente se están estudiando fenómenos cercanos a la velocidad de la luz, estos fenómenos exigen ser representados, porque efectivamente no se puede o no existe incluso la tecnología para visualizarlos, por ejemplo el del *spin* de los electrones, entonces *¿Los hallazgos matemáticos están categorizados dentro de un hecho? Esta duda se suscita a partir del ejemplo de Paul Dirac, quien realizó aportes de tipo matemático para reconciliar dos conjeturas dentro de la estructura de los átomos relacionados con los niveles de energía, *¿Se puede tomar este aporte matemático como un hecho?

Ahora, la matemática siempre ha estado presente a lo largo de la historia de la humanidad, en principio desde un punto de vista estético y armónico, como era el caso de los Pitagóricos. El mundo siempre ha sido visto como una forma de construir armónicamente lo que desde la matemática ha sido armónico. Con Galileo se comienza a poner en evidencia que esa matemática que se construye se puede establecer experimentalmente (Gallego et ál., 2006). Galileo, es el primero que se atreve a traer el tiempo en términos de lo que son marcas, rayas o formas físicas de medidas tratando de realizar representaciones ideales a través de términos matemáticos con el fin de representar las trayectorias de formas geométricas, dando así origen al concepto de experimento (Gallego et ál., 2006). Es decir que, segmentar el tiempo, es un pensamiento de tipo matemático, lo que pone en evidencia que la matemática es una forma de representar el mundo del cual se quiere dar cuenta y esa es la razón que explicaría que la matemática es un lenguaje o una forma de explicar el mundo mismo, la naturaleza como tal. Por esta razón el lenguaje matemático debe ser preciso y conocido para que pueda estar presente en las diferentes formas de entender el universo; es decir que el lenguaje puede ser narrativo, experimental, descriptivo o simbólico, entendiendo por simbólico la parte de matemática.

Ahora bien, para los matemáticos existe el “hecho matemático” que es independiente de los hechos propios de la física, la biología, y de la química, entre otros. Por ejemplo, Paul Adrien Maurice Dirac utilizó un hecho matemático —proponiendo un conjunto de cuatro funciones de onda y no una como el caso de Schrödinger— y su capacidad interpretativa para reconciliar la mecánica cuántica de Schrödinger que estaba basada en el concepto de energía de la física clásica con la teoría especial de la relatividad de Einstein, cuyo concepto de energía era muy diferente y se hacía necesario contar con una teoría cuántica completa de los fenómenos electromagnéticos, ya que estos se describen de forma consistente y correcta en el marco de la relatividad especial, lo cual dio origen entonces a la teoría cuántica relativista (Wilczek, 2004; Hacyan, 2016), que daba como resultado nuevas conjeturas del mundo² y nuevos hechos matemáticos y, por ende, nuevas verdades científicas.

Por esta vía de argumentación, existen unos procesos de formalización que en esencia son diferentes a la matemática en sí misma, por ejemplo la mecánica cuántica cuando es construida desde Schrödinger, quien termina finalmente utilizando un lenguaje matemático de integrales y funciones de onda; lo cual aparentemente podría ser algo nuevo para comprender ciertos comportamientos cuánticos como los famosos pozos de potencial, por ejemplo la idea de sumideros. El segundo ejemplo es el que hizo Dirac cuando habla de la mecánica cuántica desde el álgebra, donde se suponía que esta era un tipo de matemática que al no poder dar cuenta de ciertos fenómenos había sido desplazada por otras formas matemáticas de entender, analizar y calcular determinados

fenómenos. Pero ¿Por qué hizo esto Dirac?, porque él encuentra allí una forma hacer más comprensible los fenómenos que se estaban estudiando en ese momento (Wilczek, 2004). ¿Cuáles son los hechos que Dirac encuentra y por qué se trae a colación? Porque no se trata de tener una matemática alejada del mundo real, sino una forma de entender el mundo y sus fenómenos para los cuales las matemáticas puedan ajustarse. Justamente, el problema del sistema educativo es que se enseña cálculo por un lado y física por el otro, y las matemáticas se convierten entonces en elementos sin sentidos y pocas veces es vista como un lenguaje que expresa algún tipo de hecho, naciendo así el concepto popular de fórmula matemática, lo cual roba toda la atención en el proceso de enseñanza, aprendizaje y evaluación. Es justo aquí que el fenómeno pasa a ser un hecho secundario. Es decir, que en la medida que el fenómeno sea comprensible, dicho lenguaje cobra sentido. Por ejemplo, en los procesos de formalización matemática *¿Cómo se construye ese lenguaje y cómo se utiliza para explicar un determinado fenómeno cobrando de esta manera sentido debido a su comprensibilidad?, *¿hasta qué punto lo matemático es hablar desde los algoritmos y las formas preestablecidas sin que haya criterios que sustenten el uso de eso como un lenguaje?

Ejemplo 5

Con relación a lo anterior, en este caso se muestra una confusión muy común en las concepciones de los fenómenos estudiados en el bachillerato es sobre el movimiento rectilíneo.

$$1) \quad x = v \cdot t$$

$$2) \quad x = v_i t + \frac{g \cdot t^2}{2}$$

$$3) \quad x = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2g}$$

2 Como la idea de la existencia de una partícula con las mismas características del electrón pero con carga positiva, una nueva concepción de vacío.

La ecuación 1) es una representación matemática de los cuerpos que se mueven a una velocidad constante donde su aceleración es cero, mientras que las ecuaciones 2) y 3) tienen que ver con el movimiento uniformemente acelerado, donde sí existe una variación de la velocidad con respecto al tiempo, lo cual se conoce como aceleración. El no establecer estas diferencias, lleva a pensar que se puede operar matemáticamente con ellas, que forman parte de un mismo sistema de ecuaciones. Una evidencia de esto se puede observar en el texto *Física para Ingeniería y Ciencias* de Bauer et ál. (2011), más precisamente en el capítulo 2 llamado: "Movimiento en línea recta", en el cual no se realiza la distinción conceptual y fenomenológica requerida para no confundir el aparato matemático del movimiento rectilíneo uniforme y el uniformemente acelerado.

Lo anterior demuestra que en la enseñanza se explican hechos matemáticos que no corresponden al mundo real del estudiante, a su mundo físico. En esa medida, existen muchos ejemplos donde se enseña una ciencia del pasado sin tener en cuenta los aportes del presente y las nuevas teorías que permiten ver el mundo y su comportamiento más actual; pero esto quiere decir entonces, que no se trata de dejar de enseñar los conocimientos del pasado, estos efectivamente sí deben enseñarse, pero en el marco de un análisis problemático como el que se ha hecho hasta el momento con las preguntas disruptivas, ya que estas nos invitan a ver cómo se ha construido el conocimiento a partir de sus diferentes virtudes y deficiencias sobre las formas de explicar el mundo, y no simplemente asumir una teoría, incluso obsoleta, como algo unilateral carente de discusión dentro del aula de clases. Es decir que la mecanización del mundo, así como la comprensión lineal y desarticulada de sus fenómenos son tan incidentes que son la forma en como están organizados los sistemas escolares.

Consideraciones finales

Las reflexiones anteriores sobre las verdades, hechos científicos y las tensiones generadas, deben ser expresadas en el aula por los profesores a través del arte de la palabra, la retórica (Izquierdo, 2017). Las estructuras retóricas son aquellas características de las explicaciones de la ciencia escolar, gracias a las cuales se genera una determinada forma de presentar los fenómenos (Izquierdo, 2017). En esta se vuelve fundamental que no se trate de decir la verdad sino de construir, dotar de sentido los hechos o los fenómenos para que las personas los consideren relevantes y le encuentren un significado a la construcción del discurso que están haciendo. La ciencia escolar es genuinamente retórica, porque precisamente su misma naturaleza es la del convencimiento de la existencia de entidades como: átomos, campos, fuerzas, células, sistemas ecológicos etc., que explican el funcionamiento del mundo (Izquierdo, 2017). Pero entonces de allí los siguientes cuestionamientos: *¿Por qué se ha configurado un conocimiento donde lo teórico está por encima de lo experimental?, *¿qué es lo que hay detrás de la actividad experimental en términos de una retórica que permite pensar en una cierta dirección?

El experimento no es necesariamente para demostrar una teoría, sino que el experimento es una forma de leer y tratar de explicar el mundo. A pesar de que en el presente la mayoría de las investigaciones científicas son deductivas o a priori, es decir, siempre está precedida por un "algo" que no siempre es lo mismo, el experimento juega un rol de ser apoyo al pensamiento (Guerrero, 2012). El pensamiento debe preceder siempre y necesariamente si conlleva en sí mismo un significado, de allí que en algunos casos muy importantes para la ciencia, por ejemplo, Galileo o Darwin solo por citar algunos, hayan trabajado con experimentos mentales. Pero desde las tendencias positivistas, el experimento se volvió un mero acto demostrativo. *¿Qué es exactamente lo demostrable en la construcción y variación del conocimiento? También se puede pensar que el experimento es una forma de dotar de sentido a la naturaleza, realizado con una intencionalidad de quién se pregunta por él. Si nadie se preguntara por eso, no habría esa intencionalidad. Algunos científicos como Bartholin (descubridor del sistema linfático); Grimaldi (el primero en estudiar la difracción de la luz); Newton (estableció las bases del movimiento de los cuerpos) y Hooke, utilizaron la curiosidad como motor para el desarrollo de experimentos que a la postre se utilizaron como evidencia para la construcción de un aparato teórico de sus respectivos objetos de estudio, entonces: *¿Cuáles son las verdades que se dicen en nombre de la ciencia, y por qué a veces se deja de lado los hechos que llenan de sentido y dotan de significado la experiencia misma? Esta pregunta es tal vez el inicio del camino para dotar de significado la actividad científica escolar.

Referencias

- Adúriz-Bravo, A., y Izquierdo-Aymerich, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista electrónica de investigación en educación en ciencias*, 4(1), 40-49.
- Alonso, A. (septiembre de 2011). Una aproximación al concepto de verdad. *ERGO*, 27, 73-84.
- Bauer, W. y Westfall, G. (2011). Movimiento en línea recta. En W. Bauer, y G. Westfall, *Física para ingeniería y ciencias*, Vol. 1, (pp. 35-70). McGraw Hill.
- Capra, F. (1996). La emergencia del pensamiento sistémico. En F. Capra, *La trama de la vida*. (D. Sampeau, Trad.). (pp. 35-55). Editorial Anagrama S.A.
- Cerda, H. (1993). *Elementos de la investigación*. El Buho.
- Chalmers, A. (1982). ¿Qué es esa cosa llamada ciencia? Siglo XXI.
- Cunningham, R. (2009). Historias del vacío: la ingeniería y la nada. *Petrotecnia. Revista del Instituto Argentino del Petróleo y Gas*, 6, 92-105.
- Díaz, V., Calzadilla, A., y López, H. (2005). Una aproximación al concepto de hecho científico. *Cinta de Moebio*, 22(8), 3-16.
- Fleck, L. (1986). *La génesis y desarrollo de un hecho científico*. Editorial Alianza Universidad.
- Gallego, A., Gallego, R., y Pérez, R. (2006). ¿Qué versión de ciencia se enseña en el aula? Sobre los modelos científicos y la didáctica de la modelación. *Educación y educadores*, 9(1), 105-116.

- García, E., y Alvarado, L. (2017). Retórica de las prácticas experimentales en los libros de texto de física universitaria: el caso de la electrostática. En E. García, H. Cabrera, M. Marín, L. Alvarado, E. Espinoza, y T. Salazar, *Prácticas experimentales en textos universitarios. Implicaciones en la enseñanza de las Ciencias Naturales* (pp. 23-65). Universidad del Valle.
- Gellón, G. (2010). Modelos teóricos en pugna. El caso Dalton versus Gay-Lussac. En L. Galagovsky, *Didáctica de las Ciencias Naturales: el caso de los modelos científicos* (pp. 19-33). Lugar editorial.
- González, D. (2007). Hechos y conceptos. *Cuadernos electrónicos de filosofía del derecho*. Universidad de Alicante. <https://www.uv.es/cefd/15/lagier.pdf>
- Guerrero, G. (2012). Datos, fenómenos y teorías. *Estudios filosóficos*, 45, 9-32.
- Hacking, I. (1983). Experiment. En I. Hacking, *Representing and intervening introductory topics in the philosophy of natural science* (pp. 177-194). Cambridge University Press.
- Hacyan, S. (2016). Cuántica, relatividad y espín. En S. Hacyan, *Mecánica cuántica para principiantes* (pp. 89-108). Fondo de cultura económica.
- Herrera, R. (2012). Historias de Matemáticas. Historia del experimento barométrico. *Pesamiento matemático*, 2, 1-14.
- Izquierdo, M. (2005). Hacia una teoría de los contenidos escolares. *Enseñanza de las ciencias*, 1(23), 111-122.
- Izquierdo, M. (2017). Estructuras retóricas en los libros de ciencias. *Tarbiya. Revista de investigación e innovación educativa del Instituto Universitario de Ciencias de la Educación*, (36), 11-33.
- Justi, R. (2006). Enseñanza de las ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las ciencias*, 2(24), 173-184.
- Millares Conesa, L. (2003). Compleja historia de la formulación de la Ley de Boyle. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, 17, 37-53.
- Perafán Echeverri, G. A. (2013). La transposición didáctica como estatuto epistemológico fundante de los saberes académicos del profesor. *Revista Folios*, 37, 83-93.
- Reinders, D. (2006). La investigación sobre la enseñanza de las ciencias. Un requisito indispensable para mejorar la práctica educativa. *Revista de investigación educativa*, 11(30), 741-770.
- Sánchez, J. P. (2016). *Guía para elaborar relatorías y protocolos*. 1-15. Universidad El Bosque. <http://lpl.unbosque.edu.co/wp-content/uploads/05-Guia-Relatorias-y-protocolos.pdf>
- Universidad Industrial de Santander (UIS). (2007). *Lineamientos para el seminario de investigación como modalidad para el desarrollo del trabajo de grado*. Univer-

sidad Industrial de Santander. https://www.uis.edu.co/webUIS/es/trabajosdegrado/documentos/Jul2_trabajos_grado_doc3.pdf

Vaccarezza, G., Oliva, K., Pérez, C., y Reyes, F. (2017). Seminario Alemán: una experiencia de aprendizaje y enseñanza de la argumentación. En *Innovando en educación superior: experiencias clave en Latinoamérica y el Caribe 2016-2017 (Volumen 2: Metodologías activas de enseñanza y aprendizaje)* (Vol. II). Facultad de Economía y Negocios, Universidad de Chile. Laspau Affiliated with Harvard University.

Wilczeck, F. (2004). Un poco de magia, la ecuación de Dirac. En G. Farmelo, *Fórmulas elegantes, grandes ecuaciones de la ciencia moderna* (págs. 153-188). Tusquets Editores S.A.

Para citar este artículo:

Gómez, J. (2021). Preguntas disruptivas para fundamentar la actividad científica escolar mediante el análisis de algunos ejemplos. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (49), 295-310. <https://doi.org/10.17227/ted.num49-4412>