



Propuesta integradora entre Física y Epistemología en la formación docente de Ciencias

Julieta Laudadio¹, Erica Gabriela Zorrilla^{1y2}
y Claudia Alejandra Mazzitelli^{1y2}

¹ Instituto de Investigaciones en Educación en las Ciencias Experimentales. Facultad de Filosofía, Humanidades y Artes, Universidad Nacional de San Juan. San Juan, Argentina.

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Argentina.

[Recibido el 7 de junio de 2023, aceptado el 12 de agosto de 2023]

Resumen: La Física es una ciencia teórico-experimental, por lo que es conveniente que ambos aspectos se integren en los procesos de enseñanza. La educación científica no puede presentarse como una simple acumulación de sucesivos modelos, teorías y leyes, sino que debería dar una idea acerca de las implicancias de la actividad científica y el proceso de producción del conocimiento científico. Teniendo en cuenta estos aspectos, se presenta una propuesta de integración para el estudio de las prácticas experimentales científicas analizando el desarrollo histórico de los experimentos, buscando repensar las prácticas científicas desde una perspectiva epistemológica. En el análisis de cada experimento se señalaron las dificultades respecto a la comprensión de los temas trabajados y los aspectos que requerirían mayor profundidad. Los estudiantes valoraron positivamente las actividades que buscaron integrar los contenidos epistemológicos con el área disciplinar.

Palabras clave: física; epistemología; experimentos científicos; formación docente.

Proposal for integrated physics and epistemology teaching and learning in science teacher training

Abstract: Physics is a theoretical-experimental science, so it makes sense that both aspects should be included in the teaching process. Science education should not be reduced to a succession of models, theories and laws, but should reflect on the implications of scientific activity and the production of scientific knowledge. On that basis, this article presents an integrated proposal for the study of scientific experimental practice, analysing the historical development of each experiment, and reenvisioning scientific practice from an epistemological perspective. The analysis of each experiment highlighted the obstacles to understanding of the topics and the aspects requiring more attention. The results showed that activities that sought to integrate epistemological content were valued positively by students.

Keywords: physics; epistemology; science experiments; teacher training.

Introducción

En investigaciones realizadas en el contexto argentino acerca de la formación docente inicial en Ciencias Naturales se han identificado dificultades que inciden en el futuro desempeño docente, relacionadas con la escasa vinculación entre la formación disciplinar específica y la formación pedagógica (Mazzitelli, 2015). Al respecto, los estándares para las carreras de profesorado universitario en Física y en Química propuestos por el Consejo Interuniversitario Nacional (CIN, 2013) se refieren a la necesidad de favorecer una sólida formación tanto en el campo de conocimiento disciplinar al que hace referencia la titulación, como en el campo pedagógico, por lo que es de importancia generar situaciones de aprendizaje donde la construcción de estos conocimientos pueda ser resultado de un diálogo colaborativo entre los docentes formadores (Galagovsky, 2010).

En el ámbito de la formación docente se encuentran estudios que presentan la reflexión como dinamizadora de cambios y fuente de retroalimentación para la mejora de la práctica (Anijovich y Cappelletti, 2019; Domingo, 2019). Así, cuando la reflexión y la retroalimentación se proponen y desarrollan desde entre iguales, dentro de la propia institución educativa, puede desarrollarse una formación focalizada en las necesidades específicas de dicha institución (Malpica Basurto, 2017). Acordamos con Malpica Basurto (2017) en que, cuando la reflexión se propone y desarrolla desde dentro de una institución, se logra sugerir acciones focalizadas en superar las necesidades específicas de la organización educativa.

Atendiendo a lo expuesto, se trabajaron diferentes espacios de reflexión con docentes formadores a fin de conocer sus opiniones y desarrollar propuestas que favorezcan una integración entre las diferentes áreas de formación (Mazzitelli et al., 2020;). Las opiniones de los docentes plantearon que, no sólo hay una escasa vinculación entre las materias del área de formación disciplinar específica y del área de formación pedagógica, sino que tampoco se favorece una interacción entre las materias y los contenidos del área disciplinar específica. Algunos lo atribuyeron a que no se propicia desde el plan de estudios, otros a la práctica habitual (tradicional) compartimentada o decisiones de índole personal. Los propios docentes formadores expresaron que, al no favorecer la vinculación disciplinar-pedagógica, se pierde de vista que se debe no sólo enseñar contenidos, sino enseñar a enseñarlos. Por otra parte, al no haber una articulación entre las cátedras de formación disciplinar no se optimiza el tiempo de dictado, ni se aprovecha la posibilidad de profundizar contenidos o de enriquecer la relación teoría-práctica.

A partir de estas dificultades surgió la pregunta de cómo implementar actividades de integración entre las áreas de Física y Epistemología. En este artículo se presenta una de las propuestas que se desarrolló en ese contexto, a través de la incorporación de una perspectiva que permita el análisis de las prácticas experimentales científicas desde una mirada epistemológica.

Marco teórico

Aporte de la Epistemología a la formación de docentes en Ciencias Naturales

La educación científica no puede presentarse como una simple acumulación de sucesivos modelos, teorías y leyes, sino que debería abordar las implicaciones de la actividad científica y el lugar de la argumentación en el proceso de producción del conocimiento científico. Un aspecto clave del currículo es que permita a los estudiantes desarrollar un sentido de la naturaleza de la ciencia, ya que resulta necesario, además de enseñar ciencia, formar en aquellos aspectos que contribuyen a enriquecer cómo enseñar ciencia,

como el conocimiento sobre las características del conocimiento científico y los procesos implicados en su construcción (Cobos-Huesa et al., 2019). Taber (2017) señala la necesidad de un equilibrio entre la enseñanza de algunos de los productos o resultados de la ciencia y la enseñanza sobre los procesos de la ciencia: cómo la ciencia produce nuevos conocimientos. La mayoría de los "productos" de la ciencia en el currículo escolar tienden a ser afirmaciones de conocimiento bastante seguras que ya no son objeto de un desacuerdo activo. Una auténtica enseñanza de la ciencia brinda a los estudiantes una visión más amplia de los procesos científicos, ya sea mediante la contextualización histórica de la ciencia establecida, a través de una auténtica actividad de indagación en el aula o la inclusión en el currículo de ejemplos de controversias científicas actuales (Taber, 2017).

Si bien el conocimiento científico se presenta en una gran variedad de formas, podemos distinguir un conocimiento declarativo, procedimental y epistémico (Pritchard, 2018). Desafortunadamente el currículo de ciencias se enfoca principalmente en el conocimiento declarativo y, de manera más superficial, en el conocimiento procedimental (McComas, 2020). El conocimiento declarativo o conceptual hace referencia al conocimiento en general, mientras que el conocimiento procedimental está vinculado con la capacidad de realizar una tarea propia del campo disciplinar. Es posible aplicar un determinado conocimiento procedimental sin entender realmente la justificación de esos pasos, por lo que este tipo de conocimientos puede quedarse en un nivel elemental. Por otro lado, el conocimiento epistémico pertenece completamente a otro dominio. Alcanzamos este tipo de conocimiento al plantearnos cuestiones como: ¿Cómo conocemos?, ¿Qué existe? y ¿Por qué suceden determinados fenómenos?, teniendo en cuenta que estas preguntas son específicas dentro de cada disciplina. Al respecto McComas (2020) señala la necesidad de definir el dominio del conocimiento epistémico ya que es un aspecto clave que también debe informar el currículo de ciencias. Este dominio, la epistemología de la ciencia, a menudo es conocido como naturaleza de la ciencia. Para comprender cómo funciona la ciencia es necesario dialogar con expertos en historia, filosofía y sociología de la ciencia, entre otros para incorporar este dominio de manera adecuada al plan de estudios de ciencias.

Si bien hay buenas razones que justifican la enseñanza sobre la naturaleza de la ciencia como parte clave de la educación científica, esta no se refleja en la formación docente y por lo tanto en la educación escolar (Acevedo, 2010; Clough, 2017). La posibilidad de brindar una mirada epistemológica a las Ciencias Naturales no es suficiente para que sean integradas de manera adecuada a las prácticas de la enseñanza (Cofré et al., 2019; Mihladiz y Doğan, 2014). Algunos obstáculos hacen referencia a una falta de consenso sobre cómo comprender mejor la naturaleza de la ciencia y así representarla en la enseñanza. Otros evidencian una falta de recursos y materiales que contribuyan a su enseñanza y comprensión. En este contexto, Erduran (2014) afirma que la reconceptualización de la naturaleza de la ciencia se basa en la coordinación de los aspectos epistémico, cognitivo y social. Dichos aspectos de la ciencia promueven una descripción más inclusiva de ciencia en la enseñanza y el aprendizaje. La idea es utilizar los contenidos del currículum de manera más holística y creativa para presentar una descripción más completa y equilibrada de la ciencia a los estudiantes. Esta manera de conceptualizar la naturaleza de la ciencia es sustancialmente inclusiva al abarcar una gran variedad de dimensiones de la ciencia (Sumranwanich y Yuenyong, 2014).

A la hora de definir cuáles serían los aspectos clave de la naturaleza de la ciencia se pueden mencionar la caracterización del conocimiento científico, las metodologías científicas, los límites de la ciencia, la lógica y creatividad en la ciencia, entre otros (Taber, 2017). Como docente, es importante descubrir que el objetivo es presentar diferentes perspectivas a los estudiantes, en lugar de tratar de enseñar modelos y teorías científicas como si fueran hechos. En efecto, lo fundamental es ayudar a los estudiantes a comprender

la riqueza y variedad de miradas, en lugar de aceptarlas como relatos "verdaderos". De este modo, cuando se enseña la historia y naturaleza de la ciencia de manera eficaz, los estudiantes aprenden cómo se hace la ciencia junto con la evidencia y el razonamiento que apoya dichas ideas científicas, desarrollando así una comprensión más profunda del contenido científico. En el caso de la historia y naturaleza de la ciencia, se debe evaluar la comprensión de los estudiantes de una manera que requiera una justificación para las posiciones adoptadas en lugar de un mero enunciado de las ideas o principios (Clough, 2017; Acevedo Díaz y García-Carmona, 2016; Vicente, Jiménez-Tenorio y Oliva, 2022).

Algunos de los conceptos erróneos más comunes sobre la naturaleza de la ciencia se refieren a los desacuerdos con respecto a las explicaciones científicas sobre los fenómenos naturales; las ideas científicas surgen directamente de los datos; los modelos científicos son copias exactas de la realidad; entre otros. Dichas cuestiones deben abordarse como preguntas o interrogantes, en lugar de principios, que interpelen tanto a los profesores como a los estudiantes. Algunas de estas grandes preguntas son: ¿En qué sentido es tentativo el conocimiento científico?, ¿En qué sentido es duradero?, ¿En qué medida el conocimiento científico se basa en las observaciones del mundo natural?, ¿En qué sentido las leyes y teorías científicas son diferentes tipos de conocimiento? De esta manera, se alienta al alumno a pensar y a abordar estos problemas considerando los diferentes contextos que nos permitan obtener respuestas más ricas y abarcativas (Clough, 2017; Vicente, Jiménez-Tenorio y Oliva, 2022).

Por otro lado, una comprensión adecuada del docente acerca de la naturaleza de la ciencia contribuye a advertir las dificultades de los estudiantes para aprender ideas científicas, presentar ejemplos históricos que ilustren el avance científico y a evaluar la comprensión de los estudiantes de una manera que requiera una justificación para las posiciones adoptadas; etc. En definitiva, se trata de que los docentes estén en condiciones de plantear actividades que les obliguen a pensar profundamente en los aspectos relacionados con la historia y la naturaleza de la ciencia, para dar luz a los conceptos erróneos que pueden condicionar la comprensión de la ciencia de los estudiantes (Acevedo Díaz, 2010, Clough, 2017; Lederman, 2018).

Un abordaje integral de la experimentación en Física

La Física es una ciencia teórico-experimental, por lo que es conveniente que ambos aspectos se integren en los procesos de enseñanza de esta ciencia. Sin embargo, en las prácticas áulicas no siempre se ve reflejado el vínculo indisoluble entre teoría y práctica. Algunos autores (Ubaque-Brito, 2009) señalan que esta es una gran tarea, con lo que se busca justificar la escasa incorporación que se da en la enseñanza de las ciencias a la relación entre teoría y experimentación. No obstante, es conveniente destacar la importancia del "papel del experimento" en la enseñanza de la Física, ya que, según numerosos autores, permite abordar una dimensión más social, realista, científica y tecnológica de la disciplina (Álvarez-Galindo, 2020; Sánchez-Moreano, 2016; Séré, Coelho y Nunes, 2003).

Existen varias clasificaciones que consideran diferentes características de los experimentos, en este trabajo se considera la situación en la cual se realizan. De esta forma se podrían hablar de experimentos reales y mentales:

- Aquellos experimentos que se denominan reales se caracterizan por estudiar un fenómeno natural desde los sentidos, teniendo en cuenta fases como: la observación, manipulación de instrumentos de medición e interpretación. Algunos ejemplos de experimentos reales son la balanza de torsión de Cavendish, la descomposición de la luz de Newton, el péndulo de Foucault, la medición del radio terrestre realizado por Eratóstenes, entre otros.

- Por otra parte, los experimentos mentales o hipotéticos son construcciones ideales, que permiten abordar ciertos fenómenos de la Física que son complejos para su estudio en un laboratorio. Suelen resultar de suma utilidad como estrategia para analizar aquellas cuestiones físicas que no pueden ser verificadas empíricamente de manera inmediata. Así, se puede señalar como un ejemplo claro, el caso planteado por Galileo para los cuerpos en caída libre, donde a partir de la consideración del comportamiento de un sistema de pesos combinados, se predice que en ausencia de rozamiento dos cuerpos de igual masa y composición caen con una aceleración constante.

Es importante destacar que la categoría de experimentos mentales surge desde el seno científico mismo. Como señalan Aguilar y Romero (2011), la primera mención a los experimentos mentales se encuentra en un ensayo de Hans Christian Ørsted, quien, en 1811, utiliza una expresión equivalente a “experimentos conducidos en los pensamientos”. Luego, es Ernst Mach quien acuña este término en la discusión filosófica en un sentido más amplio, destacando que se recurre a la experimentación mental cuando la ciencia llega a un desarrollo intelectual avanzado. Cabe destacar que la manipulación de variables en la imaginación difiere de la intervención material en que la manipulación está determinada enteramente por la descripción del aparato experimental, por las teorías a las que se apela en la narrativa y por el conocimiento de fondo de los experimentadores (Mettini, 2020).

El lugar de la experimentación y su problematización debe analizarse de manera conjunta con la historia de las ciencias. Así, es posible proveer elementos para identificar la importancia que tuvieron los instrumentos y aparatos utilizados en la construcción misma del fenómeno, además de brindar la posibilidad de mostrar a la ciencia como una actividad humana, identificando la intencionalidad del científico, las problemáticas en la que se involucra y la manera de expresar y divulgar sus resultados, entre otras características (Arteaga, 2011). En este sentido, estudiar la actividad experimental en la formación docente de manera contextualizada históricamente –reconociendo las producciones individuales y colectivas, así como también su impacto posterior en la actividad científica a través de reformulaciones de un mismo experimento o de la realización de experimentos que resulten complementarios al mismo–, contribuye con la necesidad de que el futuro docente conozca cómo la ciencia produce nuevos conocimientos, lo que incidirá en la concepción de ciencia que fundamente su quehacer docente (Almeida Sánchez y García Arteaga, 2022).

Metodología

Los profesorados en Física y en Química de la Universidad Nacional de San Juan (Argentina) son carreras universitarias de formación docente de 4 años de duración. Los egresados pueden desempeñarse en el nivel de educación secundaria (edades de los alumnos entre 12 y 18 años) y de educación superior (universitaria y no universitaria). Los planes de estudio de los mencionados profesorados, incluyen materias relacionadas con la formación disciplinar específica (Mecánica de la partícula, Ondas, Química analítica, etc.), con la formación pedagógica (Psicología del aprendizaje, Sistema educativo, Didáctica, etc.) y con la formación general –adquisición de otros conocimientos complementarios necesarios– (Matemáticas, Informática, Inglés, etc.).

A continuación, se presenta la propuesta del trabajo colaborativo integrador desarrollado por docentes del área de Física y de Epistemología. La misma se llevó adelante dentro del aula virtual de la cátedra Epistemología, en el campus de la Universidad Nacional de San Juan. Se detalla en la Tabla 1 los objetivos, los contenidos y las actividades del eje temático Metodología de las Ciencias Naturales:

Tabla 1. Objetivos, contenidos y actividades del eje Metodología de las Ciencias Naturales

Objetivos	Contenidos	Actividades
Caracterizar el método científico en las Ciencias Naturales	Desarrollo del método científico en la historia. Elementos del método científico: Observación, medición, experimentación. Métodos de justificación y validación	Lectura y comentario de textos. Foro de intercambio
Analizar los aspectos epistemológicos del método científico	El problema epistemológico del método científico: La dimensión creativa del método científico, la construcción de la teoría, el contenido epistémico de la teoría	Lecturas y comentario de textos. Foro de intercambio
Indagar sobre las construcciones científicas (modelos y teorías) desde una perspectiva histórico-epistemológica.	Modelos Científicos: Pragmática de los modelos. Los modelos en las ciencias formales. Teorías y modelos en las ciencias empíricas: concepción semántica, modelos como mediadores. Modelos como representación de los fenómenos	Lectura de textos. Elaboración de mapa cronológico del desarrollo de un modelo o teoría (representantes), síntesis gráficas del desarrollo conceptual del modelo o teoría. Foros de intercambio sobre la coexistencia de teorías y modelos
Comprender las prácticas experimentales científicas desde el punto de vista epistemológico-metodológico	Prácticas experimentales científicas: el desarrollo histórico de los experimentos; el lugar de la experimentación: el debate teoría-práctica, científicos teóricos vs científicos experimentales; visiones de ciencia: lugar del experimento (o de los experimentos) en las distintas concepciones de ciencia	Lectura y comentario de textos. Análisis de experimentos desde la perspectiva histórica. Foros de intercambio sobre científicos teóricos vs científicos experimentales. Diseño de un experimento. Análisis desde distintas corrientes epistemológicas

En este trabajo nos centramos en las prácticas experimentales científicas y se presenta el análisis de las actividades planteadas para el desarrollo histórico de los experimentos. La dinámica de trabajo se llevó a cabo en dos etapas, cuyo objetivo fue promover una mayor comprensión de las prácticas experimentales a partir de un análisis más amplio y profundo de experimentos ya dominados desde una perspectiva disciplinar:

Primera etapa: los estudiantes debían realizar la lectura de algunos documentos, con la finalidad de tomar elementos teóricos que pudieran ser útiles para el análisis planteado en la segunda etapa:

- Artículo 1: se aborda desde una perspectiva histórico-filosófica la relación entre teoría y experimento, con la intención de analizar la noción de observación, el lugar de los instrumentos y de los científicos como “creadores de fenómenos” (Iglesias, 2004).
- Artículo 2: se analizan los aportes que la práctica científica puede ofrecer para comprender las características habituales y estables del conocimiento científico, destacando que dicha práctica científica se puede interpretar de diferentes maneras y nutrir de argumentos de diferentes visiones epistemológicas (Moreno, 2006).

Cabe aclarar que la lectura intencional de diferentes textos se trabajó previamente durante el desarrollo de la cátedra.

Segunda etapa: los estudiantes debían argumentar desde una visión epistemológica y reflexiva el desarrollo histórico de los experimentos. Para esto, se presentó un listado de experimentos cruciales, entre los cuales se incluían la caída de los cuerpos desde la torre de Pisa, la medición del peso de la Tierra, el experimento de Michelson-Morley, el experimento de la doble rendija, la medición de la carga del electrón y el experimento de Oersted. Así, se propone a los estudiantes la elección de al menos 2 experimentos que cambiaron la historia de la ciencia, con el objetivo de analizar e identificar:

- el tipo de experimento (si es real o hipotético),
- la teoría científica con la cual se vincula,
- su desarrollo (individual o colectivo) y
- las posibles reformulaciones efectuadas sobre el mismo a lo largo del tiempo, así como también experimentos complementarios al seleccionado.

Se llevó a cabo un estudio de casos, desde un enfoque cualitativo en el que participaron cuatro estudiantes de 4º año de las carreras antes mencionadas. Cabe destacar que la cátedra Epistemología se desarrolla en el último año del plan de estudios de los Profesorados en Física y en Química, por lo cual la cantidad de estudiantes por año que cursan esta asignatura es reducida, debido al desgranamiento que se observa en estas carreras. A su vez, también resulta importante señalar que el estudio de casos consiste en una forma de investigación empírica que aborda fenómenos en contextos específicos, orientadas a responder preguntas de “cómo” y “por qué” suceden las cuestiones bajo examen. Esta estrategia de investigación incluye diferentes diseños según el número de casos a abordar y la complejidad de las unidades de análisis (Yin, 2018).

A partir de la implementación de esta propuesta, se analizaron las producciones escritas de los estudiantes considerando el logro del objetivo planteado. Los estudiantes realizaron una evaluación final de la actividad por escrito, las opiniones recogidas también fueron incluidas en el análisis. El estudio de dichas producciones fue realizado por dos investigadores y un tercer revisor, lo que permitió consensuar las evidencias generadas e inferir algunos aportes del abordaje integrado –de aspectos disciplinares específicos y la mirada epistemológica– en la construcción de conocimientos de los futuros docentes.

Resultados

Se presenta a continuación el análisis de las producciones de los estudiantes. Cabe señalar que en todos los casos las afirmaciones del análisis realizado se acompañan con citas textuales extraídas de las producciones de los estudiantes para cada uno de los aspectos solicitados, a fin de ejemplificar las características identificadas. Para preservar el anonimato de los estudiantes, se utilizó un código alfanumérico a fin de identificarlos, en lugar de usar sus nombres reales.

La caída de los cuerpos desde la torre de Pisa

Inicialmente, los dos estudiantes que seleccionaron esta situación, identifican este experimento como hipotético, (“Galileo puso en tela de juicio la física aristotélica a través de un experimento mental”, A1; “...no hay ningún registro escrito del propio Galileo relatando que hiciera tal experimento y muchos historiadores afirman que fue más un experimento mental que una prueba física...”, A2) y señalan correctamente a la teoría a la cual pertenece, ubicándolo en el área de la Mecánica Clásica (A1, A2). Sin embargo, durante el

relato surgen algunas posibles contradicciones (“...el científico dejó caer dos esferas de distintas masas desde la parte alta de la torre inclinada de Pisa”, A1). Por otra parte, si bien los dos estudiantes que seleccionaron este experimento lo describen correctamente, las vinculaciones tanto con reformulaciones del mismo experimento como con experimentos complementarios se observan escasas (“El experimento se realizó en diferentes oportunidades por diferentes personas, en condiciones distintas y con objetos diferentes. Siempre mostró el mismo resultado”, “El astronauta David Scott realizó una versión del experimento en la Luna durante la misión del Apolo 15 en 1971, dejando caer una pluma y un martillo de sus manos”, A1; “El experimento de la torre de Pisa fue realizado también por Riccioli en la torre Asinelli de Bolonia... al aplicar el método científico con rigor acabó dándole la razón... Es decir que no fue necesario reformularlo”, A2).

En ambos casos falta distinguir el origen y el desarrollo posterior, si bien fue planteado originalmente de manera individual, luego hay una socialización y apropiación por parte de la comunidad científica que enriquece la experiencia, se hacen correcciones, se proponen cambios en las variables que hacen que ya no se trate de un experimento individual. Finalmente, si bien se mencionan algunos experimentos complementarios no se justifica en qué sentido se considera que complementan la experiencia inicial. A partir del análisis de las producciones de estos dos estudiantes consideramos que las explicaciones se presentaron incompletas, a medio camino, atendiendo a que este experimento es tan conocido que a veces los estudiantes dan por supuestos muchos aspectos.

Medición del peso de la Tierra

Esta situación fue seleccionada para su estudio únicamente por A4. Señala que fue un experimento mental, aunque la justificación esbozada no permite dar cuenta de esa característica (“Lo considero un experimento teórico, ya que parte de un modelo a escala y emplea leyes ya enunciadas”, A4). Por otra parte, lo relaciona con la teoría de gravitación de Newton (“Se vincula con la Ley de Gravitación Universal de Isaac Newton. Ya que este experimento requiere del valor de la constante gravitacional de Newton”, A4) y señala que fue desarrollado individualmente (“...el mismo fue desarrollado de manera individual por Henry Cavendish en 1798, en menor medida recibió ayuda de John Michell”, A4). Finalmente expresa el refinamiento posterior en la medición original (“Los valores se fueron reformulando a lo largo de la historia, pero por diversos autores: grupo de científicos, ingenieros, etc., A4”).

En este caso, A4 no expresa claramente la diferencia entre un experimento mental o teórico y uno real. Si bien es cierto que no es posible conocer el peso de la Tierra de manera directa, existen mediciones y cálculos indirectos que permiten arribar a valores concretos, por lo cual no se ajustaría estrictamente a la descripción de un experimento mental. En general, las respuestas dadas por A4 presentan cierta ambivalencia, como cuando expresa que el desarrollo de este experimento fue individual, pero aclara la participación de al menos dos científicos, Cavendish y Michell. Además, desarrolla escasamente la reformulación de esta experiencia en mediciones posteriores, sin aclarar la vinculación de los valores posteriormente obtenidos con el original.

Experimento de Michelson-Morley

Los dos estudiantes (A1 y A3) que seleccionan este experimento lo clasifican de forma distinta. Mientras que A1 afirma que es un experimento real (“Experimento real. A partir de este experimento se hicieron nuevos descubrimientos que llevaron posteriormente al desarrollo de una nueva rama central de la física”), A3 señala que es mental (“sería un experimento hipotético ya que estaba destinado a demostrar o refutar la existencia del

éter según la ley clásica de composición de velocidades”). También se observan discrepancias a la hora de vincularlos con una determinada teoría científica, A1 lo relaciona con la Teoría de la Relatividad y la Teoría Electromagnética (“A partir de estudios sobre este experimento se pudo comprobar la invariancia de la velocidad de la luz, una onda electromagnética, frente a las transformaciones de coordenadas y la suma de velocidades. La velocidad de la luz en el vacío es una constante universal. Esto sentó las bases, como uno de sus principios, para la Teoría de la Relatividad Especial...” y A3 con una teoría “representativa” (“...pertenería a una teoría científica representativa donde intenta fundamentar su experimento basándose en la ley clásica de composición de velocidades.”). En cuanto al desarrollo del experimento, ambos estudiantes coinciden en que se llevó a cabo de manera colectiva (“...fue realizado de forma conjunta por Albert Abraham Michelson y Edward Morley en 1887...”, A1; “...fue en forma colectiva en 1887...”, A3). Sobre su reformulación, ambos estudiantes discreparon nuevamente, para uno de ellos no fue necesario (“No hubo necesidad de reformular el experimento, ya que este sentó las bases para el posterior desarrollo de las transformaciones de Lorentz y la Teoría de la Relatividad...”, A1), mientras que para otro se realizó una variación del montaje original (“se reemplazaron los dos brazos del montaje original por dos rectángulos, donde la luz era enviada a los rectángulos, reflejándose en los espejos de las esquinas...”, A3). Finalmente, ambos mencionan al menos un experimento complementario a este (“Detección de ondas gravitacionales en 2015, por el Laboratorio LIGO, utilizando el mismo mecanismo de interferómetro que Michelson...”, A1; “El experimento de Michelson-Gale era un interferómetro de un anillo (con un perímetro de 1.9 kilómetros), para detectar la velocidad angular de la Tierra. Como el experimento original de Michelson-Morley, la versión de Michelson-Gale-Pearson comparaba la luz de una única fuente (un arco voltaico de carbono) después de viajar en dos direcciones opuestas”, A3).

En este caso, consideramos conveniente señalar que este experimento no es hipotético, ya que cumple con todas las características de un experimento real, se lleva a cabo con material tangible, se obtienen resultados concretos producto de la observación y el análisis. Podríamos suponer que la confusión de A3 se relaciona con que este experimento intentaba demostrar la existencia de un ente hipotético (éter). Respecto a la reformulación del experimento, nuevamente consideramos que se trabajó con diferentes criterios acerca de qué implica una reformulación.

Experimento de doble rendija

Este experimento fue seleccionado para su análisis por A2 y A3. Los dos estudiantes lo consideran como un experimento real y brindan una justificación al respecto (“...ya que trata de un haz de luz que ingresa a una rendija doble, lo que hacía que ese haz fuera dividido en dos y el resultado se veía proyectado sobre una pared en una habitación oscura, mostrando el patrón de interferencia”, A3; “...Young hizo pasar un haz de luz por dos rendijas y vio que sobre una pantalla se producía un patrón de interferencias, una serie de franjas brillantes y oscuras alternadas”, A2). A la hora de explicitar con qué teoría física se encuentra vinculado, una de ellas detalla la teoría ondulatoria, mientras que la otra lo sitúa dentro de una teoría fenomenológica (“...se realiza para apoyar a la teoría de que la luz era una onda y rechazar la teoría de que estaba formada por partículas. Por lo que pertenece a la teoría ondulatoria de la luz...”, A2; “...sería una teoría tipo fenomenológica ya que se fundamenta en la observación directa del rayo de luz difractado”, A3). Por otra parte, en ambos casos se brindan justificaciones acerca de su desarrollo individual (“...en los datos publicados del mismo solo se menciona a Young como el encargado de llevarlo a cabo, por lo que se desarrolla de manera individual”, A2; “El experimento de la doble rendija fue en forma individual... en el año 1801... Thomas Young...”, A3). Además, una de las

estudiantes detalla que se reformuló posteriormente y la otra no explicita concretamente si considera o no que dicho experimento fue reformulado (“No fue reformulado, pero sí dio a pie a otros autores para nuevos descubrimientos”, A2; “...la formulación moderna muestra la naturaleza ondulatoria de la luz como la dualidad onda-corpúsculo de la materia. Entra un haz de luz por una rendija estrecha...”, A3). Finalmente, solo A3 menciona brevemente algún experimento que podría considerarse complementario, pero sin justificar este aspecto (“En la reformulación moderna de la doble rendija se encontró el patrón de interferencia”, A3).

Se observa que en algunos casos no se explicita a qué teoría científica concreta en el ámbito de la física pertenece el experimento y cómo se vincula con ella. Respecto al desarrollo, no se menciona que luego de que inicialmente se realiza de manera individual, hay una socialización y una apropiación por parte de la comunidad científica que enriquecen la experiencia, hacen correcciones, proponen cambios en las variables, entre otras. Por otro lado, no queda clara la necesidad de reformulación de la experiencia y su justificación, así como tampoco se explicita la relación y aportes de los experimentos complementarios a este.

Medición de la carga del electrón

El experimento de medición de la carga del electrón fue seleccionado por A4. En su justificación lo señala como un experimento real (“...ya que se puso en evidencia y Milikan realizó el trabajo tedioso de repeticiones y análisis de resultados directos”, A4), y lo relaciona con la Teoría Electromagnética (“Se vincula a la teoría electromagnética de Faraday... Milikan necesitó cargar eléctricamente una gota de aceite y someterla a un campo eléctrico de un atomizador. Por ello estimo que se relaciona a la teoría anteriormente mencionada”, A4). De la descripción realizada, y aunque no lo especifica explícitamente, parece inferirse que A4 considera que el experimento fue realizado de manera colectiva (“Robert Andrews Millikan, junto a su alumno Harvey Fletcher...”, A4), aunque el uso de los verbos indicaría que la realización fue individual (“Inició el experimento en 1907. Su primer artículo lo elaboró en 1909...”, A4). Finalmente, el estudiante destaca la reformulación posterior del experimento (“...reformuló los valores obtenidos en 1913, probablemente porque utilizó un valor incorrecto para la viscosidad del aire”, A4).

En este caso se observa cierta confusión entre los argumentos señalados y la redacción empleada por el estudiante. Además, dado que el trabajo se enmarca en una cátedra del último año de la carrera, sería esperable encontrar argumentos más contundentes, teniendo en cuenta los conocimientos adquiridos en las áreas de Física y de Química.

Experimento de Oersted

Este experimento es seleccionado para su análisis por A1, quien lo identifica como un experimento real, aunque en su justificación no señala las características por las cuales realiza esta consideración (“...a partir de esta experiencia se hicieron nuevos descubrimientos y se visualizaron nuevos efectos que llevaron al desarrollo de una teoría de unificación de la electricidad y el magnetismo”, A1). Por otra parte, señala correctamente el vínculo entre el experimento y la Teoría Electromagnética (“con ayuda de este experimento se pudo visualizar por primera vez de manera experimental la relación estrecha entre la electricidad y el magnetismo...”, A1), y lo describe destacando su realización individual (“...fue llevado a cabo por Hans Cristian Oersted en 1820. Colocó una aguja imantada...”, A1). Detalla también que no fue necesario reformular el experimento, pero sí replicarlo (“...en los años posteriores fue replicado en repetidas oportunidades por diversos científicos, puliendo e intentado mejorarlo, tanto para comprobar su veracidad como para la búsqueda de

nuevos efectos y conocimientos”, A1). Finalmente menciona tres experimentos que considera complementarios al de Oersted (“...el primer motor eléctrico en 1821, y la inducción electromagnética, 1831, ambos experimentos fueron desarrollados por Michael Faraday. También la detección de las ondas electromagnéticas en 1887, por Heinrich Hertz”, A1).

En este caso, se observa un desarrollo más completo de la actividad en relación con los resultados anteriores a este. No obstante, hubiese sido conveniente profundizar un poco más sobre los fundamentos dados, principalmente en lo que se refiere a qué se entiende por reformulación y replicación de un experimento. Nos preguntamos si la replicación que menciona A1, no se trata de una reformulación en sí misma, ya que en su justificación brinda detalles que hacen referencia a retomar y reconsiderar el experimento original de Oersted. De la misma manera, más allá de mencionar otros experimentos, sería importante que hubiera explicitado su vinculación y de qué manera resultan complementarios.

Conclusiones

En líneas generales, consideramos que los estudiantes han asumido el desafío de pensar las prácticas científicas desde una perspectiva epistemológica. En el análisis de cada experimento se señalaron las dificultades respecto a la comprensión de las temáticas y los aspectos que requerirían mayor profundidad. En algunos casos se observa que las explicaciones se presentan incompletas, quizás debido a que se trata de experimentos muy conocidos donde los estudiantes dan por supuestos muchos aspectos. En otros casos se pone de manifiesto cierta confusión entre los argumentos señalados y la redacción del estudiante. Teniendo en cuenta que se trata de estudiantes de 4º año sería esperable encontrar argumentos más claros a partir de los conocimientos adquiridos en las áreas de Física y Química. Esta situación podría atribuirse a falta de comprensión en nociones disciplinares o bien a la falta de experiencia en la vinculación de ambas áreas con la consiguiente dificultad y esfuerzo necesario.

Por otro lado, los estudiantes también valoraron positivamente las propuestas que buscaban integrar los contenidos epistemológicos con el área disciplinar, y si bien señalaron que fueron actividades más complejas, reconocen que les resultó más significativo el proceso y les permitió relacionar más adecuadamente los conceptos. Al mismo tiempo, manifestaron que sería deseable contar con instancias de trabajo grupal para facilitar la comprensión de los temas, enriquecer los conceptos y superar las barreras propias de una perspectiva con la que están poco familiarizados.

Los estudiantes, al finalizar la experiencia, expresaron que la epistemología les ha aportado una mirada más amplia y holística de la ciencia y de su historia, como así también del conocimiento. Les permitió descubrir una visión distinta de la ciencia, incorporando diferentes paradigmas que dan cuenta de su desarrollo, al mismo tiempo que reflexionaron sobre su propia posición disciplinar. Otro aspecto que resaltaron es una perspectiva más amplia, no sólo de la ciencia sino de la enseñanza de la física, incorporando cuestiones que antes desconocían y buscando la forma de tratar los contenidos desde otra visión. En este sentido, resulta sencillo coincidir con Cobo-Huesa et al. (2019) en que si se busca construir una visión realista y funcional acerca de cómo funciona la ciencia, es importante incluir rasgos epistemológicos de la misma, incorporando las normas y los valores que rigen la comunidad científica, las características de los científicos, entre otras relaciones.

Pensamos que a futuro sería deseable plantear una exigencia más gradual que les permitiría trabajar un análisis modelo de manera grupal, contemplando tiempos de puesta en común y debate. Y luego, realizar la actividad de manera individual, como instancia de evaluación del proceso de aprendizaje. Al mismo tiempo, se ha reflexionado acerca del

modo de plantear con más claridad las consignas. Por ejemplo, al preguntar si el experimento fue reformulado a lo largo del tiempo, se podría explicitar mejor qué se entiende por reformulación: cambio en los instrumentos, las formas de medir, las condiciones de medición, etc.; así como también explicitar la distinción entre reformulación y replicación de un experimento.

Finalmente, consideramos que este tipo de propuestas que buscan vincular aspectos disciplinares y epistemológicos deberían promoverse para alcanzar un abordaje más integral de temáticas en la enseñanza de la física. Si bien es necesario seguir dando pasos en esta línea, consideramos que la actividad desarrollada promueve la indagación de las construcciones científicas (modelos y teorías) desde una perspectiva histórico-epistemológica. Esta postura es compartida por autores vinculados al estudio de la naturaleza de la ciencia, como Moreno et al. (2018), quienes destacan que una adecuada comprensión de los aspectos epistemológicos facilita el aprendizaje de la ciencia misma, mejorando la asimilación de conceptos e ideas científicas. Además, favorece el comprender las prácticas experimentales científicas desde el punto de vista epistemológico-metodológico.

Por último, sería interesante abordar preguntas como: ¿la reflexión sobre las prácticas científicas influye en la construcción de las prácticas experimentales escolares?, ¿cuál es la visión de ciencia que se transmite a través de objetivos e hipótesis de una práctica experimental?, ¿qué información debe contener un informe de prácticas experimentales escolares y por qué? Es decir, sería deseable en el ámbito de los profesores que el área disciplinar se vincule no sólo con la mirada epistemológica, sino también pedagógica-didáctica.

Referencias bibliográficas

- Acevedo-Díaz, J. A. (2010). Formación del profesorado de ciencias y enseñanza de la naturaleza de la ciencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7(3), 653-660. DOI: https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2010.v7.i3.04
- Acevedo-Díaz, J.A. y García-Carmona, A. (2016). «Algo antiguo, algo nuevo, algo prestado». Tendencias sobre la naturaleza de la ciencia en la educación científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(1), 3-19. DOI: https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2016.v13.i1.02
- Aguilar, Y. y Romero, Á. E. (2011). A propósito de los experimentos mentales: una tentativa para la construcción de explicaciones en ciencias. *Revista Científica*, 13(1), 169-174. DOI: <https://doi.org/10.14483/23448350.613>
- Almeida-Sánchez, H. y García-Arteaga, E. G. (2023). Aportes de la Historia y la Filosofía en la enseñanza de las ciencias a partir de la actividad experimental asociada a la hidráulica. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 18(1), 134-148. DOI: <https://doi.org/10.14483/23464712.19116>
- Álvarez-Galindo, C. A. (2020). *Análisis histórico del trabajo de Cavendish con la balanza de torsión: una reconstrucción para pensar el papel del experimento*. [Tesis de grado, Universidad Pedagógica Nacional]. Repositorio de la Universidad Pedagógica Nacional. Recuperado de: <http://repositorio.pedagogica.edu.co/handle/20.500.12209/12746>
- Anijovich, R. y Cappelletti, G. (2019). Documentos narrativos y práctica reflexiva en la formación de profesores. *Revista Panamericana de Pedagogía, Saberes y Quehaceres del Pedagogo*, 28, 37-58. DOI: <https://doi.org/10.21555/rpp.v0i28.1619>

- Arteaga, E. G. G. (2011). *Las prácticas experimentales en los textos y su influencia en el aprendizaje: aporte histórico y filosófico en la física de campos*. [Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona]. TESEO. Recuperado de: <https://www.educacion.gob.es/teseo/imprimirFicheroTesis.do?idFichero=3pW86s5xaLc%3D>
- Clough, M.P. (2017). History and Nature of Science in Science Education. En K.S. Taber y B. Akpan (Eds), *Science Education. New Directions in Mathematics and Science Education* (pp. 39-51). Sense Publishers. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-6300-749-8_3
- Cobo-Huesa, C., Abril, A.M. y Ariza, M.R. (2019). Propuesta didáctica en la formación de profesorado para trabajar naturaleza de la ciencia y pensamiento crítico. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 3(1), 15-28. DOI: <https://doi.org/10.17979/arec.2019.3.1.4630>
- Cofré, H., Núñez, P., Santibáñez, D., Pavez, J. M., Valencia, M. y Vergara, C. (2019). A critical review of students' and teachers' understandings of nature of science. *Science & Education*, 28, 205-248. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11191-019-00051-3>
- Consejo Interuniversitario Nacional (2013). *Propuestas de Estándares generales de la Formación Docente comunes a los Profesorados Universitarios* (Resolución CE 856/13). Buenos Aires.
- Domingo, A. (2019). La profesión docente desde una mirada sistémica. *Revista Panamericana de Pedagogía, Saberes y Quehaceres del Pedagogo*, 28, 15-35. DOI: <https://doi.org/10.21555/rpp.v0i28.1618>
- Erduran, S. y Dagher, Z. R. (2014). *Reconceptualizing Nature of Science for Science Education*. Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-017-9057-4_1
- Galagovsky, L. (2010). *Didáctica de las ciencias naturales: el caso de los modelos científicos*. Lugar Editorial.
- Iglesias, M. (2004). El Giro hacia la Práctica en Filosofía de la Ciencia: Una Nueva Perspectiva de la Actividad Experimental. *Opción*, 20(44), 98-119. Recuperado de: https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1012-15872004000200006
- Lederman, N. G. (2018). La siempre cambiante contextualización de la naturaleza de la ciencia: documentos recientes sobre la reforma de la educación científica en los Estados Unidos y su impacto en el logro de la alfabetización científica. *Enseñanza de las ciencias*, 36(2), 5-22. DOI: <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2661>
- Malpica-Basurto, F. (2017). Las comunidades profesionales de aprendizaje: desarrollo de una práctica reflexiva fundamentada. En A. Domingo y R. Anijovich (Eds.), *Práctica reflexiva: escenarios y horizontes. Avances en el contexto internacional* (pp. 65-88). Aique Educación.
- Mazzitelli, C. A. (2015). *La enseñanza de las ciencias y la formación docente inicial: estudio de las representaciones sociales de estudiantes y docentes formadores*. Editorial FFHA – UNSJ.
- Mazzitelli, C., Laudadio, J. y Guirado, A. (2020). Reflexiones sobre la formación inicial en Ciencias Naturales desde la mirada de los docentes formadores. *Revista Enseñanza de la Física*, 32 (N° Extra), 251-259. Recuperado de: <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/31001>
- McComas, W. F. y Clough, M. (2020). Nature of Science in Science Instruction: Meaning, Advocacy, Rationales, and Recommendations. En W.F. McComas (Ed.), *Nature of*

- Science in Science Instruction. Science: Philosophy, History and Education*. Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-57239-6_1
- Mettini, G. (2020). Los experimentos mentales como modelos científicos. *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia*, 20(40), 199-223. DOI: <https://doi.org/10.18270/rcfc.v20i40.3237>
- Mihladiz, G. y Doğan, A. (2014). Science Teachers' Views about NOS and the Place of NOS in Science Teaching. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 116, 3476–3483. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.787>
- Moreno, J. C. (2006). Realidad y razón en la práctica. *Universitas philosophica*, 23(46), 99-128. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/4095/409534408006.pdf>
- Moreno, L., Zúñiga, K., Cofré, H. y Merino, C. (2018). Efecto (¿o no?) de la inclusión de naturaleza de la ciencia en una secuencia para el aprendizaje y la aceptación de la teoría de la evolución. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(3), 3105. DOI: https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i3.3105
- Pritchard, D. (2018). *What is this thing called knowledge?* Routledge.
- Sánchez-Moreano, C. J. (2016). *El papel del experimento en la relación conocimiento común-conocimiento científico. Aportes a la enseñanza-aprendizaje de la flotación*. [Tesis doctoral, Universidad del Valle]. Repositorio Institucional de la Universidad del Valle. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/10893/10248>
- Séré, M. G., Coelho, S. M. y Nunes, A. D. (2003). O papel da experimentação no ensino da física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 20(1), 30-42. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5165649>
- Sumranwanich, W. y Yuenyong, C. (2014). Graduate Students' Concepts of Nature of Science (NOS) and Attitudes toward Teaching. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 116, 2443–2452. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.589>
- Taber, K. (2017). Reflecting the Nature of Science in Science Education. En K. Taber, B.B. Akpan (Eds.), *Science Education* (21–37). Brill. https://doi.org/10.1007/978-94-6300-749-8_2
- Ubaque-Brito, K. Y. (2009). Experimento: una herramienta fundamental para la enseñanza de la física. *Góndola, enseñanza y aprendizaje de las ciencias*, 4(1), 35-40. Recuperado de: <https://geox.udistrital.edu.co/index.php/GDLA/article/view/5248>
- Vicente, J. J., Jiménez-Tenorio, N. y Oliva, J. M. (2022). La Naturaleza de la Ciencia como objeto de aprendizaje en la formación inicial del profesorado de ciencias de secundaria. *Revista Interuniversitaria De Formación Del Profesorado. Continuación De La Antigua Revista De Escuelas Normales*, 97(36.1), 123-142. DOI: <https://doi.org/10.47553/rifop.v97i36.1.92424>
- Yin, R. K. (2018). *Case Study Research and Applications*. SAGE Publications.