

Rediseño de una asignatura de Electromagnetismo en un profesorado de física

Redesign of an Electromagnetism course in a pre-service teacher career

Velasco Nicolás^{1,2*}, Buteler Laura^{1,2}, Dayana Alvarez¹

¹ Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación, Universidad Nacional de Córdoba, Medina Allende y Haya de la Torre. Ciudad Universitaria, CP 5000, Córdoba. Argentina.

² Instituto de Física Enrique Gaviola, FAMAF - CONICET, Medina Allende y Haya de la Torre. Ciudad Universitaria, CP 5000, Córdoba. Argentina.

*E-mail: nicolas.velasco@unc.edu.ar

Resumen

Este trabajo forma parte de un proyecto más amplio relativo a la formación de futuros docentes de física durante el desarrollo de un curso de fenómenos electromagnéticos. En este artículo, compartimos las mociones y criterios que se utilizaron para diseñar e implementar una innovación didáctica en ese nivel. La propuesta tiene como objetivo que los futuros docentes aprendan de física y sobre su enseñanza simultáneamente. El diseño se fundamenta en resultados de investigación en didáctica de las ciencias y se realiza en consonancia con lo prescripto por el diseño curricular de la Provincia de Córdoba para la carrera del profesorado en física. La propuesta fue implementada durante los años 2022 y 2023. Los resultados emergentes de la implementación muestran un camino posible para fortalecer la formación docente de los estudiantes del profesorado, que favorece la integración de conocimientos disciplinares y didácticos, logrando que los futuros docentes no solo se apropien del contenido sino también de estrategias para su enseñanza.

Palabras clave: Formación docente; Circuitos eléctricos; Innovación didáctica.

Abstract

This work is part of a broader project aimed at contributing to the education of pre-service physics teachers during the development of an electromagnetic phenomena course. In this article, we share the criteria that were used to design and implement an instructional innovation at that level. The innovative proposal described here, along with its preliminary results, aims for pre-service teachers to learn both physics content and teaching methods simultaneously. The design is grounded in research outcomes in science education and is in line with the curriculum prescribed by the Province of Córdoba for the physics teaching career. The proposal was implemented during the years 2022 and 2023. The emerging results from the implementation showcase a potential pathway to enhance the teacher training for education students, fostering the integration of disciplinary and pedagogical knowledge. This approach ensures that pre-service teachers not only grasp the content but also acquire strategies for effective instruction.

Keywords: Teacher training; Electrical circuits; Didactic innovation.

I. INTRODUCCIÓN

Este trabajo se enmarca en uno mayor que intenta aportar a la mejora en la formación inicial del docente de física mediante una propuesta de enseñanza innovadora. En este artículo, compartimos las mociones y criterios que se utilizaron para diseñar e implementar la innovación didáctica en un espacio disciplinar de la carrera del profesorado de física. Además, compartimos algunos resultados preliminares de la implementación de la innovación mencionada.

El rol del docente de física es esencial al actuar como mediador entre la física académica y la enseñada en las escuelas. Durante la etapa de formación inicial, los futuros educadores adquieren las herramientas para comprender y relacionar ambos contextos, lo que involucra no solo el dominio profundo del contenido de física, sino también una comprensión profunda de numerosos aspectos, a saber: cómo los estudiantes aprenden, la dinámica en las aulas, el conocimiento de los planes curriculares, la utilización de recursos didácticos, entre otros. Este conjunto de conocimientos se denomina conocimiento pedagógico del contenido (CPC) (Magnusson y otros, 1999; Shulman, 1986). En la formación docente de la provincia se prevén espacios de las prácticas o didácticas específicas para construir esos conocimientos, pero esos espacios no alcanzan para que los futuros docentes construyan un CPC capaz de orientar sus prácticas áulicas en consonancia con lo que prevén los documentos curriculares (Nieva *et al.*, 2019). Atendiendo a que los profesores tienden a aprender más de los métodos de enseñanza experimentados durante su formación que de los que les han predicado en los espacios de didáctica (Nieva *et al.*, 2019; Fernández Pérez, 1994; Tobin *et al.*, 1994), consideramos que el fortalecimiento del CPC de los docentes en formación también puede abordarse desde los espacios curriculares disciplinares (Mäntylä y Nousiainen, 2014; De Longhi y Rivarosa, 2015)

En función de la problemática planteada, se ha rediseñado un espacio curricular del tercer año del profesorado en física, específicamente en la asignatura de Fenómenos Electromagnéticos, cuya enseñanza ha sido sustentada por resultados de investigación en didáctica de las ciencias. El objetivo de esta innovación es doble: que los futuros docentes logren apropiarse del contenido disciplinar sobre fenómenos electromagnéticos y también de su enseñanza.

II. DESCRIPCIÓN DE LA SECUENCIA

A. Resultados de investigación que sustentaron la propuesta

El rediseño consistió en repensar una nueva propuesta de enseñanza respetando los contenidos propuestos por el diseño curricular de la Provincia de Córdoba para la formación de profesores de física. El foco se colocó en modificar el modo en el cual se abordaba el contenido, basados en los resultados de investigación en didáctica de la ciencia que se exponen a continuación:

1. Trabajar con las ideas previas de los estudiantes en relación con los circuitos eléctricos. Los resultados de la investigación en educación en física en relación con la enseñanza y al aprendizaje de circuitos eléctricos (Tarciso Borges & Gilbert, 2010; Pesman & Eryilmaz, 2010; Hart, C, 2008; Cohen *et al.*, 1983; Mackay y Hobden, 2012).
2. Problematizar los contenidos de las clases (Levrini y otros, 2015, Engle y Conant, 2002).
3. Generar una cultura de la clase en la que la autoridad disciplinaria esté distribuida entre los estudiantes (Sullivan y Wilson, 2015, Engle y Conant, 2002).
4. Mantener a los estudiantes atentos unos a otros, compartiendo y respetando las normas de la física y de la clase (Engle y Conant, 2002).
5. Proveer a los estudiantes con recursos relevantes (Cobb *et al.*, 2009).
6. Hacer visible la estructura epistemológica de la física de manera de cuestionar (en el sentido fuerte) la imagen autoritativa y exclusiva de la disciplina según la cual un único punto de vista es considerado legítimo y posible (Nasir y otros, 2006)
7. Incorporar lecturas de perspectivas epistemológicas variadas de distintos expertos de manera de proveer a los estudiantes de ejemplos sobre formas posibles de involucrarse e interpretar el mismo contenido (Nasir *et al.*, 2006).
8. Incorporar actividades en cierre del del curso, con la finalidad de recuperar y reflexionar sobre las distintas actividades desarrolladas en el espacio de Fenómenos Electromagnéticos, a fin de explicitar y repensar el rol docente como creador y moderador de oportunidades de apropiación para los estudiantes” (Jiménez- Aleixandre, 2001; Engle y Conant, 2002).

B. Estructura general de una clase de la secuencia didáctica

Cada una de las clases comienza con una actividad problematizadora del contenido (resultado 2). En muchas oportunidades esta actividad sirve para poder recabar las preconcepciones de los estudiantes con relación al contenido que se está por abordar. Las actividades elaboradas corresponden a situaciones problemáticas concretas y de interés para los estudiantes.

Posteriormente, se les presenta a los estudiantes otra actividad para reutilizar o tensionar los modelos alternativos (resultado 1). Es importante resaltar que las tensiones de los modelos pueden generar discusiones tanto en pequeños grupos como con el grupo clase, haciendo que la autoridad no esté centrada en el docente sino distribuida en los estudiantes. Las interacciones discursivas promovidas tanto en la actividad inicial como en las posteriores se

caracterizan por intentar ser verdaderamente dialógicas e interactivas en términos de Aguiar *et al.* (2010). Esto fomenta que los estudiantes estén atentos unos a otros respetando las normas de la física y de la clase (resultados 3 y 4). Además, este tipo de discursos hacen visible la estructura epistemológica de la física y cuestionan la imagen autoritativa y exclusiva de la disciplina según la cual un único punto de vista es considerado legítimo y posible (resultado 6).

Los recursos relevantes que se proponen a los estudiantes para trabajar las situaciones problemáticas son en su mayoría trabajos de tipo experimental, sean laboratorios reales, virtuales o experimentos pensados (resultado 5).

Una vez que las ideas previas de los estudiantes son tensionadas, algunos de los modelos alternativos pueden evolucionar o alinearse en dirección del conocimiento normativo. En este punto, el docente toma las conclusiones elaboradas por los estudiantes y pasa en limpio cada una, para resaltar puntos de conexión entre ellas (si hubiera más de un modelo alternativo), o para caracterizar el modelo que se desarrolla de forma colectiva. También en ese momento el docente puede realizar aportes teóricos o representaciones matemáticas de lo trabajado que aproximan las conclusiones elaboradas por los estudiantes al conocimiento normativo.

Luego, se les propone a los estudiantes una nueva actividad que permita visualizar el progreso de sus ideas previas (resultado 1). En ocasiones, para analizar ese progreso, se proponen lecturas sobre la historia de la ciencia, ya sean controversias científicas o experiencias desarrolladas a lo largo del siglo XIX. Esto también permite trabajar la estructura epistémica de la física y construir una imagen de ciencia no distorsionada (resultados 6 y 7). En resumen, la propuesta se diseña para que los estudiantes no solo aprendan de física sino también sobre la física.

Finalmente, cada 2 o 3 clases, se propone realizar con los estudiantes un análisis del tipo de enseñanza vivenciada, resaltando la estrategia de enseñanza utilizada y las características de las actividades desarrolladas (resultado 8).

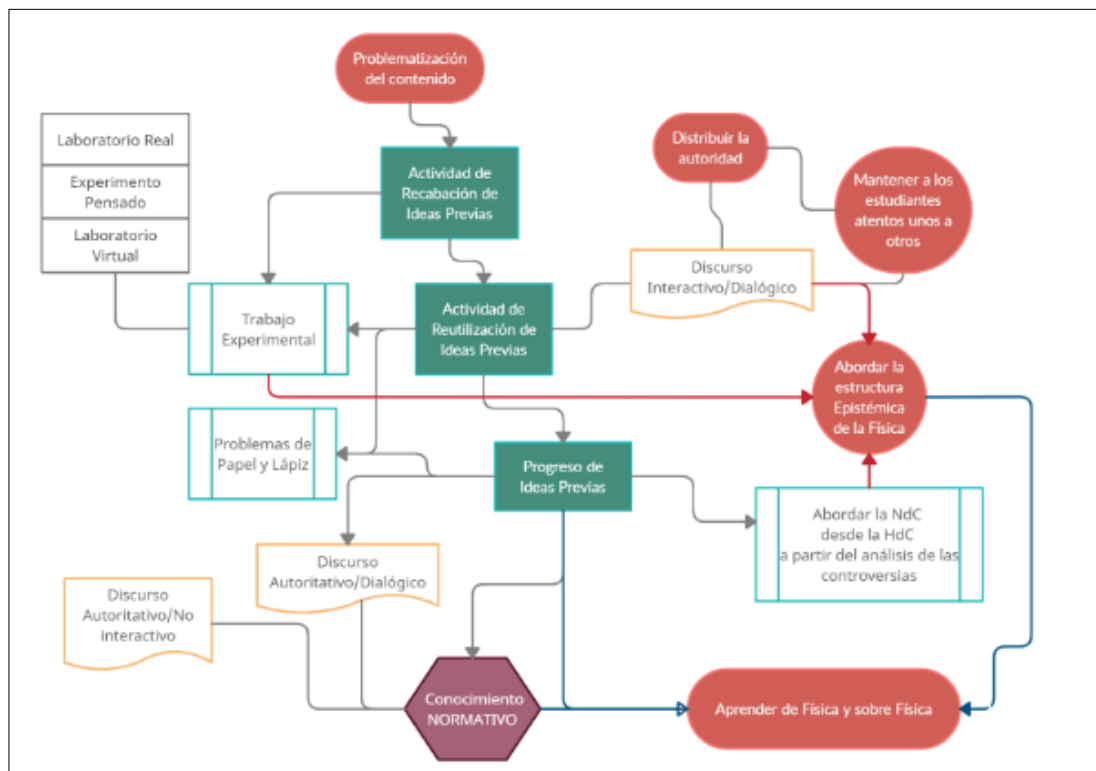


FIGURA 1. Estructura sobre la cual se pensaron las clases.

C. Un ejemplo: Parte de la primera clase - Introducción a circuitos eléctricos

En la presente actividad se aborda el contenido referido a circuitos eléctricos. La actividad es introductoria al tema a trabajar. La problematización del contenido fue un juego: el pulsómetro (resultado 2).

El juego es una actividad que ha aportado a la construcción del individuo y a la sociedad. Desde el terreno de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias los resultados de diferentes investigaciones señalan que el juego favorece la creatividad, el espíritu investigativo y despierta la curiosidad por lo desconocido, lo cual es un factor fundamental a la hora de generar preguntas (Melo y Hernández 2014). Para ello se utilizará un pulsómetro como recurso relevante (resultado 5) que, además, servirá para recabar las ideas previas de los estudiantes en torno a los elementos intervinientes en un circuito eléctrico.

De acuerdo con las ideas de Solis Villa (1984), sobre distintas denominaciones —errores conceptuales, esquemas alternativos (Driver y Easley, 1978), concepciones alternativas (Gilbert, 1983)— que reflejan posiciones epistemológicas diferentes, existe un hecho común: los alumnos no llegan como una tabula rasa; cada uno trae una estructura cognitiva, elaborada a partir de la experiencia diaria, que le sirve para explicar y predecir lo que ocurre en su entorno y en su día a día. Estas preconcepciones en muchas ocasiones no coinciden con los conceptos científicos a trabajar y en variadas oportunidades persisten luego del abordaje formal de cada tema, es por ello que resulta imprescindible conocerlas para tensionarlas, contextualizarlas y refinarlas (resultado 1). Por ello se les propone a los estudiantes la siguiente actividad lúdica:

Utilizando un pulsómetro cada estudiante, de a uno a la vez, deberá lograr trasladar la argolla del mismo de un extremo al otro sin que toque el alambre central. En caso de no lograrlo se encenderá una luz en el pulsómetro y debe comenzar nuevamente.

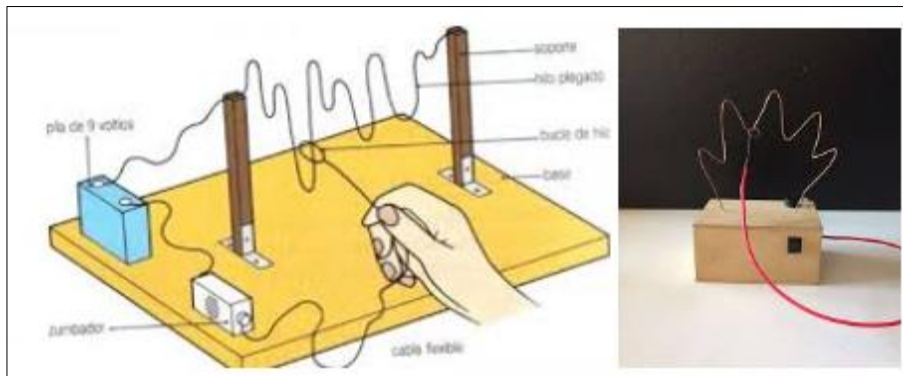


FIGURA 2. (Izq.) Estructura interna del pulsómetro; (Der.) Pulsómetro tal como lo ven los estudiantes.

Luego, los estudiantes distribuidos en pequeños grupos deben responder por escrito a las siguientes consignas

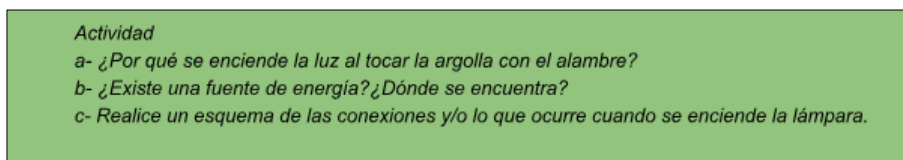


FIGURA 3. Consignas entregadas a los estudiantes.

Trabajar las preguntas en grupos reducidos permite una discusión entre pares, donde la autoridad está distribuida entre los estudiantes (resultado 3). Luego, en una segunda etapa, se exponen los esquemas realizados por cada grupo, y se fomenta el debate. En ese momento, el docente se corre del centro de la discusión, para que se dé entre los estudiantes, fomentando que estén atentos unos a otros compartiendo y respetando las normas de la clase (resultado 4). El enfoque comunicativo es del tipo dialógico/interactivo, ya que docente y estudiantes exploran ideas, plantean y ofrecen preguntas genuinas, escuchando y trabajando en diferentes puntos de vista (Aguiar *et al.*, 2010). En esta interacción se produce una tensión entre los distintos modelos expuestos por los estudiantes. Con la orquestación del debate por parte del docente, es probable que se progrese en la construcción de un modelo próximo al del conocimiento científico. No obstante, una vez finalizada la discusión, el docente procede a mostrar el circuito del pulsómetro, que servirá como instrumento de constatación de hipótesis.

Las controversias a partir del funcionamiento del pulsómetro hacen visible la estructura epistemológica de la física ya que cuestiona la imagen autoritativa y exclusiva de la disciplina según la cual un único punto de vista es considerado legítimo y posible, sino que fomenta la participación y la construcción colectiva del conocimiento (resultado 6).

Además de hacer visible la naturaleza de la ciencia a través de la discusión, participación y argumentación promovidas en la clase, se trabaja este punto incorporando una lectura sobre una controversia histórica que provocó la evolución del conocimiento científico (resultados 6 y 7).

Los sistemas educativos en todo el mundo, en diversas medidas, están reconociendo la importancia de no limitar la enseñanza de la ciencia a un enfoque meramente técnico. En cambio, se busca presentarla como una actividad humana que se desarrolla dentro de una comunidad autorregulada, en medio de una sociedad con valores, prejuicios y tensiones presentes (Buteler y Perea, 2020). García-Carmona (2014) sostiene que la inclusión de la historia de la

ciencia en la enseñanza permite: ejemplificar el desarrollo de las teorías científicas; conocer las relaciones ciencia-sociedad de cada época; ilustrar el carácter universal y multicultural de la ciencia; y contribuir a la integración y coherencia del currículo de ciencia. Es por ello que en la secuencia rediseñada se incorporan lecturas con diferentes posicionamientos epistemológicos de distintas figuras relevantes de la física, de manera de proveer a los estudiantes de ejemplos sobre formas posibles de involucrarse e interpretar el mismo contenido (resultado 7). Por ejemplo, en clases subsiguientes a la presentada se les proporciona a los estudiantes un documento sobre la controversia Volta-Galvani y junto con él un cuestionario que resolverán de manera individual (resultado 5).

E. Implementación y evaluación

La secuencia descrita se ha implementado, durante los años 2022 y 2023, en el tercer año de un profesorado de física de la ciudad de Córdoba. Consideramos importante destacar que el cursado de la carrera es vespertino y que la casi totalidad de estudiantes son trabajadores y tienen familia a cargo. Esto último puede ser un factor importante a la hora de analizar resultados. Entre ambos años de implementación, 10 estudiantes han transitado por la asignatura didácticamente reconstruida, 9 de los cuales son personas trabajadoras con una demanda laboral superior a 40 h semanales.

Por otra parte, la cursada de los estudiantes fue en modalidad combinada. Es decir, alternaron semanas de cursadas presenciales y semanas de trabajo virtual. El cursado virtual puede desarrollarse de manera sincrónica o asincrónica, siendo este último el promovido por el instituto. Es importante decir que esta modalidad de cursada fue resultado de una disposición ministerial jurisdiccional y no como decisión en el diseño de la propuesta.

Como se ha mencionado anteriormente, en esta innovación no solo se pretende que los estudiantes se apropien del contenido sino también de su enseñanza, es por ello que se utilizaron dos instrumentos para evaluar la propuesta.

Para valorar cómo los estudiantes se apropiaron de la enseñanza del contenido se utilizó una entrevista semi estructurada que constaba de las siguientes preguntas:

- *Pensando en el camino recorrido, ¿puedes hacernos una lista de los momentos más relevantes (para vos) donde aprendiste, el concepto de diferencia de potencial, intensidad de corriente eléctrica, y/o potencia eléctrica?*
- *Pensando en los dos enfoques trabajados para el concepto de intensidad de corriente (el macroscópico y el microscópico), ¿hay alguno que hayas preferido? ¿Por qué?*
- *Mirando el estilo de enseñanza que hemos desarrollado hasta ahora ¿cómo caracterizarías a la propuesta? ¿Por qué?*
- *Discutir en clase con tus compañeros y el docente ¿ha sido útil para comprender los conceptos de electrodinámica? Si es así ¿qué intercambios aportaron a tu reflexión personal?*
- *Las lecturas e intercambios sobre la Historia de la Física ¿te sirvieron para comprender mejor el contenido? ¿Cuáles consideras que son las fortalezas y debilidades de trabajar estas lecturas?*
- *Entre los temas abordados, ¿qué contenidos te parecieron más interesantes? ¿Cuál más o menos difícil?*
- *¿Reconoces cuáles son algunas de las preconcepciones o modelos alternativos habituales en los estudiantes sobre circuito eléctrico?*
- *¿Qué recursos utilizados consideras que han provocado que vos y tus compañeros se involucren en las clases?*

A lo largo de la entrevista, los estudiantes pudieron reconocer algunos aspectos vinculados con las estrategias para la enseñanza utilizadas en el diseño. Por ejemplo, en relación con la importancia de promover interacciones verdaderamente dialógicas en el aula en donde la autoridad esté distribuida en el grupo clase (resultado 4). Los estudiantes mencionaron que pudieron fortalecer su aprendizaje con las discusiones con la clase, nutriéndose de los puntos de vistas de los compañeros (resultado 3). También reconocieron la importancia de cuestionar la imagen autoritativa y exclusiva de la disciplina según la cual un único punto de vista es considerado legítimo y posible (resultado 6).

En ocasiones, lo que decía uno podía estar incompleto, pero otro compañero aportaba ese que faltaba. En otros momentos, los puntos de vistas de otro estudiante me hacían dar cuenta que lo que yo pensaba no era acertado. (Resultado 3)

Ninguna respuesta era desestimada por el profe. Entre nosotros llegábamos a un acuerdo sobre nuestras ideas [...] El profe no hace distinción entre nuestros aportes, indistintamente si es correcta o no, podíamos debatir nuestras ideas. (Resultado 6)

Con esta forma de trabajo yo me siento reconocido en clase, que mis aportes son valiosos y hacen variar el curso de la clase. (Resultado 4)

También los estudiantes pudieron reconocer la importancia de la actividad experimental como recurso relevante y problematizador del contenido (resultados 2 y 5).

Los laboratorios fueron importantes, porque allí podíamos ver si nuestras respuestas (anticipaciones) eran acertadas o no.

Poder ver el fenómeno o medir variables nos ayudó a comprender mejor el tema.

En mi caso, la actividad experimental fue lo que más me llamó la atención y despertó mi interés.

Los estudiantes pudieron reconocer la importancia de abordar el contenido desde dos perspectivas distintas, (macroscópica y microscópica) (resultado 7) aunque no resaltaron la importancia de abordar el contenido desde controversias históricas.

El modelo microscópico vino a llenar los huecos que había dejado el modelo macroscópico.

El modelo micro vino a complementar el modelo macro, para poder dar respuestas a preguntas que el modelo macro no las daba.

Finalmente, a lo largo de la entrevista los estudiantes pudieron reconocer algunas ideas previas o modelos alternativos que tenían en relación con circuitos eléctricos (resultado 1).

Los laboratorios virtuales sirvieron para poder diferenciar los conceptos de intensidad de corriente eléctrica del de diferencia de potencial, antes, para mí era todo electricidad.

El laboratorio inicial sirvió para que uno de nosotros pensaba que era necesario un solo cable para encender una lámpara (modelo unipolar) se diera cuenta de la necesidad del circuito cerrado.

Hasta que no vimos el modelo microscópico no tenía motivos para dudar de que la batería no era una fuente de cargas.

Por otro lado, se valoró el progreso de las ideas previas de los estudiantes y la apropiación del contenido trabajado. Si bien a lo largo de toda la secuencia didáctica se van realizando evaluaciones parciales y formativas del progreso de las ideas previas de los estudiantes, hacia el final de la unidad se realizó una evaluación sumativa. El instrumento utilizado es una adaptación del utilizado y validado por Zimmerman (2015). El instrumento permite valorar el progreso de las ideas previas de las estudiantes referidas a circuitos eléctricos. A continuación, se muestran los resultados obtenidos por los estudiantes en esa evaluación:

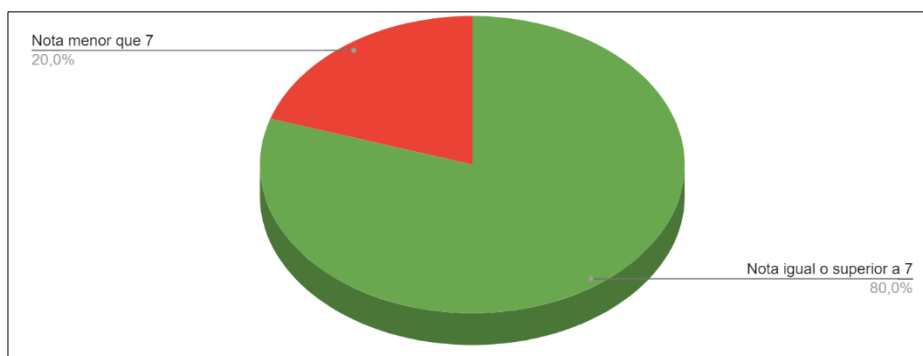


FIGURA 4. Calificaciones obtenidas por los estudiantes.

Como se observa en la figura 4, 8 de los 10 estudiantes logran calificaciones que dan cuenta que la mayoría de sus ideas previas han sido revisadas y mejoradas, logrando una buena comprensión sobre el tópico circuitos eléctricos. Solo dos estudiantes no lograron los objetivos previstos. Es importante resaltar que estos estudiantes tuvieron un cursado intermitente, con altos niveles de ausentismo y con un bajo involucramiento en las actividades propuestas.

III. CONCLUSIONES

La innovación didáctica implementada para el tópico circuitos eléctricos, tenía como objetivo que los estudiantes se apropien no solo del contenido sino también sobre su enseñanza. Es posible advertir, por medio de la entrevista realizada, que los futuros docentes pudieron reconocer las estrategias didácticas utilizadas, que son los resultados de investigación que sustentaron el diseño.

Por otro lado, luego de analizar los resultados obtenidos en la evaluación sumativa, es posible decir que la mayoría de los estudiantes ha conseguido apropiarse del contenido logrando que sus preconcepciones evolucionen en dirección al conocimiento canónico.

Este caso reportado expone que, en los ámbitos disciplinarios, los futuros docentes no solamente adquieren conocimientos del contenido, sino que también incorporan las estrategias de enseñanza empleadas durante su formación. Esto último puede ser utilizado de forma intencionada para que los estudiantes se apropien de una determinada forma de enseñar.

Hasta aquí, hemos compartido un camino posible para fortalecer el CPC de los estudiantes del profesorado, que favorece la integración de conocimientos disciplinarios y didácticos. Actualmente, se están sistematizando otros datos relevados que permiten valorar en profundidad cómo se ha fortalecido el CPC de los estudiantes y el nivel de apropiación alcanzado sobre el contenido disciplinar.

REFERENCIAS

Aguiar, O. G., Mortimer, E. F. y Scott, P. (2010). Learning from and responding to students' questions: The authoritative and dialogic tension. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 47(2), 174-193.

Buteler, L. M. y Perea, M. A. (2020). Sobre la incorporación de la historia de la ciencia en la enseñanza: ¿Para qué? *Boletín de la Asociación Ibero Americana de Ciencia Tecnología y Sociedad*, 11(3), 12-15.

Cobb, P., Gresalfi, M. & Hodge, L. L. (2009). An interpretive scheme for analyzing the identities that students develop in mathematics classrooms. *Journal for Research in Mathematics Education*, 40(1), 40-68.

Cohen, R., Eylon, B. & Ganiel, U. (1983). Potential difference and current in simple electric circuits: A study of students' concepts. *American Journal of Physics*, 51(5), 407-412.

De Longhi, A. L. y Rivarosa, A. (2015). Los nuevos estándares para la formación docente: reflexiones y tensiones. *Revista de Educación en Biología*, 18(2), 5-10.

Driver, R. & Easley, J. (1978). Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, 5, 61-84.

Engle, R. & Conant, F. (2002): Guiding Principles for Fostering Productive Disciplinary Engagement: Explaining an Emergent Argument in a Community of Learners Classroom. *Cognition and Instruction*, 20(4), 399-483.

Fernández Pérez, M. (1994). *Las tareas de la profesión de enseñar. Práctica de la racionalidad curricular. Didáctica aplicable*. Madrid: Siglo XXI.

García-Carmona, A. (2014). Naturaleza de la ciencia en noticias científicas de la prensa: análisis del contenido y potencialidades didácticas. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 32(3), 493-509.

Gilbert, J. K. & Watts, D. M. (1983). Concepts, misconceptions and alternative conceptions: Changing perspectives in science education. *Studies in Science Education*, 10:1, 61-98. DOI: 10.1080/03057268308559905

Hart, C. (2008). Models in physics, models for physics learning, and why the distinction may matter in the case of electric circuits. *Research in Science Education*, 38, 529-544.

Jiménez-Aleixandre, M. P., Rodríguez, A. B. & Duschl, R. A. (2001). "Doing the lesson" or "doing science"; argument in high school genetics. *Science Education*, 84(6), 757-792.

Livrini, O., Fantini, P. Tasquier, G., Pecori, B. & Levin, M. (2015) Defining and Operationalizing Appropriation for Science Learning. *Journal of the Learning Sciences*, (24)1, 93-136.

- Magnusson, S., Krajcik, J. & Borko, H. (1999). Nature, sources, and development of pedagogical content knowledge for science teaching. In *Examining pedagogical content knowledge: The construct and its implications for science education* (pp. 95-132). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Mäntylä, T. & Nousiainen, M. (2014). Consolidating pre-service physics teachers' subject matter knowledge using didactical reconstructions. *Science & Education*, 23, 1583-1604.
- Mackay, J. & Hobden, P. (2012). Using circuit and wiring diagrams to identify students' preconceived ideas about basic electric circuits. *African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education*, 16, 131-144.
- Melo Herrera, M. P. y Hernández Barbosa, R. (2014). El juego y sus posibilidades en la enseñanza de las ciencias naturales. *Innovación educativa*, 14(66), 41-63.
- Nasir, N. S., Rosebery, A. S., Warren, B. & Lee, C. D. (2006). Learning as a cultural process. In K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge handbook of the learning sciences* (pp. 489-504). Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Nieva, C. M., Buteler, L. y Velasco, J. (2019). Hacer lo que decimos vs. decir lo que hay que hacer: una reformulación de la didáctica de la física. *Revista de Enseñanza de la Física*, 31, 561-568.
- Pesman, H. & Eryilmaz, A. (2010). Development of a three-tier test to assess misconceptions about simple electric circuits. *The Journal of Educational Research*, 103, 208-222.
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14.
- Solís Villa, R. (1984). Ideas intuitivas y aprendizaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 2(2), 083-89.
- Sullivan, F. & Wilson, N. (2015). Playful Talk: Negotiating Opportunities to Learn in Collaborative Groups. *Journal of the Learning Sciences*, (24)1, 5-52.
- Tarciso Borges, A. & Gilbert, J. (2010). Mental models of electricity. *International Journal of Science Education*, 21(1), 95-117.
- Tobin, K., Tippins, D. & Gallard, A. (1994). Research on instructional strategies for science teachers. In Gable, D. (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning*, (45-93). Nueva York: Mcmillan.
- Zimmerman, G. J. (2015). The design and validation of an instrument to measure the Topic Specific Pedagogical Content Knowledge of physical sciences teachers in electric circuits (Doctoral dissertation, University of the Witwatersrand, Faculty of Humanities, School of Education).