



La Apropiación del discurso científico como recurso para fortalecer el Conocimiento Pedagógico del Contenido: un caso en electromagnetismo.

por

Nicolás Martín Velasco

Presentado como parte de los requerimientos para la obtención del grado de
Doctor en Educación en Ciencias Básicas y Tecnología, de la

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA

Marzo 2024

Directora: Dra. Laura Buteler

Tribunal Especial:

Titulares

Dra. Marta C. Pocoví (UNSA)

Dra. Irene Arriasecq (UNICEN - CONICET)

Dr. Claudio A. Sosa (FCEFYN, UNC)

Suplentes

Dr. Clemar Schürer (FAMAF, UNC)

Dra. Elena Hoyos (UNSA)



Este trabajo tiene licencia [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).© 2 por Nicolás Martín Velasco

Agradecimientos

En primer lugar, a Laura Mayer, mi compañera de vida. A nuestros hijos Celeste, Rafael y Fátima, que me sostuvieron a lo largo de estos años. Ellos aceptaron conmigo el desafío de realizar un Doctorado, a sabiendas que eso implicaría compartir menos tiempos de familia. Sin su apoyo no hubiera sido posible este trabajo.

A mi directora, Laura Buteler. Quien incansablemente me acompañó en cada momento. Por el trabajo constante y a deshora para mostrarme el camino. Por guiarme en cada paso y a la vez, ir gestando en mí la autonomía que un investigador necesita.

A mi grupo de investigación, el GECyT Física, Enrique, Nicos, Bruno, Luciano y Rosario. Por los intercambios y la mano que me han dado en cada etapa de la Tesis. Por mostrarme que la investigación no es individual, sino que es un producto colectivo.

Al Instituto de Educación Superior Simón Bolívar. A sus directivos Rafael Herrera y Darío Genovese, y a mis colegas profesores, por abrirme las puertas del instituto y acompañarme en cada etapa.

A mis padres, Graciela y Rodolfo, que son ejemplos de trabajo y perseverancia. Gracias a ellos por sembrar en mí esos valores.

A la FAMAF, por brindarme la oportunidad de continuar una formación académica de calidad.

A la sociedad en su conjunto, por sostener la Universidad Pública y Gratuita, que es nuestro orgullo argentino y que debemos cuidarla.

Resumen

El Conocimiento del Profesor abarca aquel saber que un docente utiliza para diseñar y llevar a cabo una propuesta de enseñanza. Este conocimiento, específico de los profesores, no solo comprende el dominio del contenido, sino también la comprensión de cómo enseñar ese contenido. Esta última dimensión incluye el conocimiento sobre cómo los estudiantes comprenden, sobre cuáles son las estrategias de enseñanza más adecuadas para enseñar un contenido, cuáles son las estrategias de evaluación más apropiadas, así como el conocimiento del currículo, entre otros aspectos. En el ámbito de la formación docente, este conjunto de conocimientos ha sido denominado por algunos investigadores como Conocimiento Pedagógico del Contenido (CPC) ([Shulman, 1986](#)).

La construcción del CPC de un profesor se desarrolla a lo largo de su carrera docente. Sin embargo, resulta crucial comprender cómo se forja durante la formación inicial, ya que es en este contexto donde se pueden realizar contribuciones significativas para mejorar la formación docente en física. En el período de formación inicial, el CPC de los futuros docentes se construye a partir de diversas asignaturas que se dividen en los campos de formación pedagógica/didáctica y el campo disciplinar, y es el futuro profesor quien, a menudo sin éxito, debe afrontar el desafío de integrar estos campos del saber que se encuentran encapsulados en parcelas con escasa vinculación. Existen investigaciones que han avanzado en la comprensión de cómo se fortalece el CPC desde las asignaturas de didáctica de las ciencias o desde las prácticas preprofesionales. Sin embargo, queda poco explorado cómo el CPC de los futuros docentes se puede mejorar desde las asignaturas de física. Además, existen estudios que reportan que las prácticas de los docentes de las asignaturas disciplinares en el profesorado, están alejadas de los resultados en investigación didáctica. Esto es un dato poco alentador, si se pretende mejorar el CPC de los futuros docentes, ya que en la formación de profesores influye más

la manera de cómo se les enseña, que lo que se les dice sobre la forma de enseñar. Es aquí en dónde nos surge la pregunta guía de esta investigación sobre ¿Cómo se fortalece el CPC (o parte de él) de los futuros docentes de física desde un espacio curricular disciplinar, cuando este se diseña en base a los resultados de investigación en didáctica de las ciencias?

Este trabajo de Tesis Doctoral tiene como objetivo principal comprender cómo se puede fortalecer el Conocimiento del Profesor a partir de las asignaturas disciplinares. Para ello, se elige como marco metodológico el provisto por la Investigación Basada en el Diseño. Este tipo de investigación se produce en el contexto del aula, a través de ciclos iterativos de diseño, implementación y evaluación de una secuencia de enseñanza y aprendizaje sobre algún contenido particular. Toda propuesta de investigación intervencionista debe adoptar una concepción de aprendizaje. En este contexto, se optó por el concepto de apropiación para definir y evidenciar el aprendizaje, considerando no solo la capacidad de reproducir o utilizar un conocimiento, sino también cómo ese contenido contribuye a la construcción de la identidad del individuo. Por otro lado, como se mencionó anteriormente, se tomó al CPC como lente teórico para comprender y valorar el Conocimiento del Profesor.

El diseño que se puso bajo investigación, consistió en una reconstrucción didáctica de la asignatura de Fenómenos Electromagnéticos (FE) del tercer año en un Profesorado de Física en un Instituto de formación docente en la ciudad de Córdoba. La reconstrucción se basó en resultados de investigación ampliamente consensuados en la comunidad de investigadores en Didáctica de las Ciencias. La implementación de la reconstrucción de la asignatura FE ocurrió inicialmente en el año 2022, con la participación de 2 estudiantes. Posteriormente, y a partir de los resultados obtenidos, se ajustó el diseño para su re-implementación en el año 2023, con la participación de 6 estudiantes. Luego, y a partir de diversos registros (videgrabaciones de las clases, producciones de los estudiantes, y entrevistas) fue posible valorar la apropiación del discurso científico y caracterizar el CPC de los estudiantes cursantes de la asignatura de FE durante los ciclos lectivos 2022 y 2023. Paralelamente, se logró caracterizar el CPC de estudiantes que cursaron FE previamente a la reconstrucción didáctica (ciclo lectivo 2021).

La Investigación Basada en el Diseño ofrece la posibilidad de obtener resultados prácticos y teóricos. En nuestro caso, en términos prácticos, los resultados revelaron que el diseño basado en los emergentes de investigación en Didáctica de las Ciencias generó apropiación del contenido por parte de los estudiantes de profesorado. Por otro lado, los resultados en términos teóricos mostraron que: 1) los marcadores de apropiación, que fueron elaborados para el contexto de la educación secundaria, son trasladables al contexto de la formación docente; 2)

que la apropiación no admite sólo categorías binomiales del tipo blanco/negro, sino que se expresa en escala de grises; 3) que el Conocimiento Pedagógico del Contenido (CPC) de los futuros docentes se fortalece notablemente cuando la asignatura disciplinar se diseña en base en los resultados de la investigación, y 4) que existe un vínculo entre la apropiación del contenido y el fortalecimiento del CPC. Se observó que aquellos estudiantes que lograron apropiarse en mayor medida del discurso científico también lograron desarrollar un Conocimiento del Profesor más competente.

En esta Tesis Doctoral, se aportan evidencias de que la experiencia de cursar una asignatura disciplinar diseñada en base a los resultados de investigación en Didáctica de las Ciencias genera que los futuros docentes no sólo aprendan sobre el contenido, sino también sobre su enseñanza.

Abstract

"Teacher knowledge refers to the knowledge that a teacher uses to design and carry out a teaching proposal. This teacher-specific knowledge comprises not only the mastery of the content, but also the understanding of how to teach that content. This last dimension includes knowledge about students' understanding, about which are the most appropriate teaching strategies to teach a specific content, which are the most appropriate assessment strategies, as well as knowledge of the curriculum, among other aspects. In the field of teacher education, this set of knowledge has been referred to by some researchers as Pedagogical Content Knowledge (PCK) (Shulman, 1986).

The construction of a teacher's PCK develops throughout his or her teaching career. However, it is crucial to understand how it is forged during pre-service instruction, since this is the context in which significant contributions can be made to improve their education. Knowledge from varied subjects build into pre-service teachers' PCK. These are distributed within either pedagogical/didactic training fields or disciplinary fields. It is the future teacher who, often unsuccessfully, must face the challenge of integrating these fields of knowledge, which are allocated in non-connected compartments. There is research that has advanced in understanding how PCK is strengthened by pedagogical subjects or from pre-professional practices. However, there is little exploration of how physics subjects can contribute to future teachers' PCK. In addition, there are studies that report that teachers of disciplinary subjects the practices of undergraduate teachers of disciplinary subjects are distant from results from science education research. These are not very encouraging data. Apparently, the way they are taught (Physics) has a stronger impact on future teachers' PCK than the pedagogy that is taught to them. This gives rise to the guiding question of our research: How can PER-informed Physics instruction feed into pre-service teachers' PCK?

The main goal of this Doctoral Thesis is to understand how Teacher Knowledge can be strengthened from disciplinary subjects. For this purpose, the methodological framework chosen is the one provided by Design-Based Research. This type of research takes place in the classroom context, through iterative cycles of design, implementation and evaluation of a teaching and learning sequences on some particular content. Any interventionist research proposal must adopt a stance on learning. In this context, the concept of "appropriation" was chosen to define and evidence learning. This will be regarded not only as the ability to reproduce or use knowledge, but as an indicator on how this content contributes to the construction of teacher identity. On the other hand, as mentioned above, PCK was taken as a theoretical lens to understand and assess Teacher Knowledge.

The design under investigation consisted of a research-informed reconstruction of the subject Electromagnetic Phenomena (EM) which is part of the third year in a Physics Teacher Training Institute career in the city of Córdoba. The reconstruction was based on results widely agreed upon in the community of researchers in Didactics of Science. The implementation of the reconstructed EM occurred initially in the year 2022, with the participation of 2 students. Subsequently, and based on the results obtained, the design was adjusted for its re-implementation in 2023, with the participation of 6 students. Then, and from different registries (class video recordings, student productions, and interviews) it was possible to assess the appropriation of the scientific discourse and to characterize the PCK of students taking course in 2022 and 2023. At the same time, it was possible to characterize the PCK of students who had taken the course prior to its reconstruction (year 2021).

Design-Based Research offers the possibility of obtaining practical and theoretical results. In practical terms, our results revealed that design based on PER results generated appropriation of the content in prospective teachers. On the other hand, the results in theoretical terms showed that: 1) the appropriation markers, which were elaborated for the context of secondary education, are transferable to the context of teacher education; 2) that appropriation does not admit only binomial categories of the black/white type, but is expressed in a grayscale; 3) that the Pedagogical Content Knowledge (PCK) of future teachers is notably strengthened when the disciplinary subject is designed based on research findings, and 4) that there is a link between content appropriation and a strengthening of PCK. It was observed that those students who managed to appropriate the scientific discourse to a greater extent also managed to develop a more competent Teacher Knowledge.

In this Doctoral Thesis, evidence is provided supporting the claim that the experience of attending a research based disciplinary course not only fosters students' knowledge about the specific content, but on the teaching of that content as well.

Índice general

Agradecimientos	I
Resumen	VII
1. Introducción	1
1.1. Descripción de la problemática	1
1.2. Síntesis de los capítulos de la presente Tesis Doctoral	4
2. Revisión de la literatura	5
2.1. Fortalecimiento del Conocimiento del Profesor de los futuros docentes en asignaturas o cursos de Didáctica de las Ciencias	6
2.2. Fortalecimiento del CPC de los futuros docentes en las prácticas pre profesionales.	10
2.3. Fortalecimiento del CPC de los futuros docentes desde las asignaturas o cursos disciplinares	13
2.4. Síntesis de la revisión de la literatura sobre investigaciones que apuntan al fortalecimiento del CPC	17
2.5. Aproximación a una de las preguntas de investigación	18
3. Marco Teórico	19
3.1. Conocimiento Pedagógico del Contenido	19
3.1.1. Fundamentación	19
3.1.2. Definición del CPC	20
3.1.3. Evolución del Modelos sobre el CPC	20
3.1.4. Enfoques para la caracterización del CPC	28
3.2. Apropiación	30

3.3. Objetivos y preguntas de investigación	31
4. Metodología	33
4.1. Investigación Basada en el Diseño	33
4.1.1. Consideraciones Generales	33
4.1.2. Resultados de Investigación que sustentan el Diseño	35
4.2. Fuente de Datos	41
4.2.1. Apropiación	41
4.2.2. Caracterización del CPC	44
4.3. El Instituto y el grupo clase en el que se desarrolla la investigación	52
5. Resultados	55
5.1. Resultados de la primera implementación	55
5.1.1. Resultados sobre la Apropiación del contenido de los estudiantes participantes de la primera implementación	55
5.1.2. Resultados sobre el CPC de los estudiantes participantes de la primera implementación:	59
5.2. Ajustes en el diseño	68
5.2.1. Análisis retrospectivo de la SEA tras la primera implementación	68
5.2.2. Cambios de Diseño en la SEA	70
5.3. Resultados de la segunda implementación	78
5.3.1. Resultados sobre la Apropiación del contenido de los estudiantes participantes de la segunda implementación	78
5.3.2. Sobre el CPC de los estudiantes participantes de la segunda implementación	85
5.3.3. Análisis comparativo de los resultados, a partir de los cambios realizados en la SEA	105
5.3.4. Análisis del vínculo entre los CPC de los estudiantes las cohortes 2022/2023 y la apropiación del discurso científico.	107
5.3.5. Comparación de los CPC de los estudiantes de las cohortes 2022/2023 vs 2021	110
6. Discusiones y Conclusiones	129
Bibliografía	146
7. Anexos	147
7.1. Anexo I: Secuencia de Enseñanza-Aprendizaje	147
7.2. Anexo II - Parcial	187

7.3. Anexo III - Texto sobre la controversia Galvai-Volta de la primera implementación	191
7.4. Anexo IV - Texto sobre la controversia Galvai-Volta de la segunda implementación	196

1.1. Descripción de la problemática

La educación científica en el nivel secundario enfrenta diversos desafíos que afectan el aprendizaje de los estudiantes. Las clases de física de nuestro país raramente presentan oportunidades para que los estudiantes logren involucrarse en el aprendizaje de la disciplina. Recurrentes investigaciones en el ámbito local e internacional muestran que la enseñanza habitual de la física es superficial y basada en la resolución algorítmica de problemas ([Guisasola Aranzabal et al., 2011](#); [Becerra Labra et al., 2004](#); [Leonard William et al., 2002](#)) y que esto da lugar a una visión distorsionada de la ciencia y del conocimiento científico ([Patricio Pujalte et al., 2014](#)). Muchos docentes de ciencias, y en particular los de física, encuentran dificultades para diseñar, implementar, y evaluar propuestas de clases que tengan un sustento didáctico adecuado. Una arista de la dificultad radica en la complejidad que conlleva actuar como mediador entre la física canónica o científica y la física adaptada para el entorno escolar.

Esta problemática, tiene una de sus raíces en la formación inicial del profesor. Durante este período, los futuros educadores deberían desarrollar las herramientas necesarias para comprender ambos contextos (el conocimiento científico y el conocimiento científico escolar) y construir conexiones significativas entre ellos. Diseñar propuestas que apunten a construir puentes entre ambos contextos demanda un conocimiento extenso y profundo sobre la ciencia, sobre la manera en la que aprenden los estudiantes, la dinámica escolar, el entorno del aula, los documentos curriculares de la educación secundaria y diversos recursos didácticos,

entre otros aspectos. Esta “amalgama” de conocimientos ha recibido múltiples nombres a lo largo de la historia de la investigación didáctica en la formación docente. Nos referiremos a este corpus de conocimiento como el Conocimiento del Profesor (CP), que es aquel conocimiento que le permite a un docente hacer más comprensible un contenido a otros.

Tanto en el plano internacional como en el ámbito local existen investigaciones que describen las dificultades que tienen los futuros docentes para comprender e integrar todos los conocimientos expuestos anteriormente para el diseño de una propuesta didáctica (Furci et al., 2022; Ogunniyi and Rollnick, 2015; UNESCO, 2012; Syh-Jong, 2007; Hashweh*, 2005) El estilo de enseñanza que los futuros docentes suelen mostrar en sus prácticas pre-profesionales, reproduce una serie de estrategias de enseñanza no problematizadas, que no son reconocidas como propias y con escaso fundamento teórico. Por ejemplo: el razonamiento del sentido común o el conocimiento cotidiano se evoca como una estrategia para involucrar a los estudiantes, pero no se utiliza como punto de partida para hacer evolucionar el pensamiento de los estudiantes (Viennot et al., 2005; Michelini, 2004; Gess-Newsome, 1999); o por ejemplo se promueven trabajos grupales sin generar verdaderas instancias dialógicas que les permitan a los estudiantes contrastar sus concepciones con las de los demás compañeros.

La problemática de la integración de los conocimientos disciplinares con los conocimientos necesarios para una buena enseñanza, en el caso de la formación de profesores en la provincia de Córdoba, ha sido abordada desde los diseños curriculares. Se prevé que las asignaturas referidas a las didácticas específicas sean los espacios que promuevan esta integración. Sin embargo, existe literatura que sostiene que esos espacios curriculares no alcanzan por sí mismos para desarrollar un CP sofisticado y lograr superar la problemática descrita, siendo necesario utilizar los espacios curriculares disciplinares para fortalecer no sólo el conocimiento sobre la disciplina sino también sobre el referido a su enseñanza (De Longhi and Rivarosa, 2015; Mäntylä and Nousiainen, 2014).

Por otro parte, las sugerencias para la enseñanza de las asignaturas disciplinares del profesorado no son específicas para el contenido en cuestión, sino que también son orientaciones generales de didáctica de la ciencia (Velasco and Gandolfo, 2022). Es decir, el diseño curricular de los espacios disciplinares contienen orientaciones para la enseñanza del contenido que no aportan de manera particular para cada tópico. Esto se evidencia en que no existen diferencias en las orientaciones mencionadas para los espacios curriculares de los contenidos vinculados a la Mecánica, a la Termodinámica, a los Fenómenos Ondulatorios y al Electromagnetismo. Esto disminuye las posibilidades que en los espacios disciplinares los estudiantes puedan experimentar cómo se materializan las estrategias

didácticas para un contenido específico de física. Es poco probable que sin espacios curriculares específicos en los que se promueva la integración de los conocimientos disciplinares y los didácticos-pedagógicos, los futuros profesores logren hacerlo por sí mismos al momento de tomar decisiones sobre la enseñanza en contextos de aula.

Sumado a lo anterior, en la formación de profesores de física, tanto a nivel internacional como local, se observa una tendencia hacia enfoques tradicionales de enseñanza, alejados de los avances en investigación sobre didáctica de las ciencias (Velasco and Buteler, 2023, Steenstrup et al., 2002). Además, en las asignaturas específicas de la disciplina, son escasas las oportunidades para llevar a cabo prácticas y actividades que incluyan reflexiones sobre la enseñanza de los contenidos (De Longhi, 2014). Esto genera un alargamiento de la brecha entre el conocimiento del contenido disciplinar y el referido a su enseñanza, dificultando la integración de ambos campos en la formación de futuros docentes.

Si las prácticas de los docentes de espacios curriculares disciplinares están alejados de los resultados en investigación didáctica y considerando que en la formación de profesores influye más la manera de cómo se les enseña que lo que se dice sobre la forma de enseñar (Nieva et al., 2019, Sanmartí, 2002, Fernández Pérez, 1994, Tobin et al., 1994), ¿No es esperable que los futuros docentes reproduzcan enfoques de enseñanza de corte tradicional y alejados de los resultados en investigación didáctica?, ¿Cómo los futuros docentes se apropian de las estrategias didácticas sobre cada contenido específico, sin espacios que promuevan este aprendizaje?, ¿Cuál es el sentido de la formación didáctica-pedagógica que reciben los estudiantes de profesorado si no se logra entrelazarla con el conocimiento disciplinar?

Estos interrogantes nos llevaron a indagar los espacios disciplinares como posibles escenarios para el desarrollo del CP de los futuros docentes. Para ello planteamos un estudio de investigación basado en el diseño en un tercer año de un profesorado de física de la Provincia de Córdoba. Se diseñó, implementó y evaluó una secuencia de enseñanza para abordar la problemática anterior en el espacio curricular de Fenómenos Electromagnéticos. La propuesta procura promover el desarrollo de un CP competente en los futuros docentes. Esperamos con este trabajo, poder aportar a la resignificación del conocimiento profesional docente, contribuir a una mejora en la formación de profesores de física y así, a que los estudiantes de nivel secundaria tengan experiencias de aprendizajes más productivas en el campo de la física.

1.2. Síntesis de los capítulos de la presente Tesis Doctoral

Tal como se ha visto, en el presente capítulo se han desarrollado las mociones que han dado lugar a esta Tesis Doctoral. Además, se ha identificado y descrito en términos generales la problemática que se pretende abordar. En los próximos capítulos nos adentraremos en cómo fue el proceso investigativo. En particular, en el **capítulo 2** se muestra una revisión de la literatura sobre trabajos que reportan resultados de experiencias sobre el fortalecimiento del CP de los estudiantes de profesorado desde distintos espacios curriculares. En ese mismo capítulo se exponen algunos emergentes de interés para esta Tesis Doctoral y una aproximación a las preguntas que guían la investigación.

En el **capítulo 3** se detalla el marco teórico utilizado para construir la secuencia didáctica, analizar el aprendizaje del contenido y caracterizar el CP de los estudiantes de profesorado. En el **capítulo 4** se describe la metodología utilizada para esta investigación. En esta sección, en un primer apartado, se hace una caracterización detallada de la Investigación Basada en el Diseño y cómo esta permite desarrollar innovaciones y analizar sus implicancias para la construcción de teoría. En un segundo apartado se describe la metodología utilizada para diseñar la Secuencia de Enseñanza-Aprendizaje (SEA). Finalmente en el último apartado de esta sección, se describe la metodología utilizada para: 1) analizar la apropiación del contenido de circuitos eléctricos por parte de los estudiantes, y 2) caracterizar el CP de los futuros docentes luego de cursar la asignatura didácticamente reconstruida.

Luego, en el **capítulo 5**, se muestran los resultados obtenidos en cada una de las implementaciones tanto en lo que se refiere a la apropiación de los contenidos disciplinares como a la caracterización del CP de cada uno de los estudiantes participantes de esta investigación como también las caracterizaciones de los CP de otros estudiantes del profesorado de física que habían cursado con anterioridad la asignatura pero en su versión tradicional. También en este capítulo se muestra los ajustes realizados entre una implementación y la siguiente.

Finalmente en el **capítulo 6** se discuten las conclusiones emergentes de esta Tesis Doctoral, su implicación en la formación docente, y por último, posibles futuras líneas de investigación vinculadas con el presente trabajo.

CAPÍTULO 2

Revisión de la literatura

Se han utilizado diferentes conceptos para referirse al conocimiento del profesor: conocimiento del oficio ; conocimiento práctico personal; paradigmas funcionales de los profesores; conocimiento práctico; teorías implícitas de los profesores; conocimiento profesional y reflexión en la acción; conocimiento pedagógico del contenido (Butt et al., 1988). De todas las acepciones presentes en la literatura para hablar sobre el conocimiento del profesor, el Conocimiento Pedagógico del Contenido ha sido la que más utilizada, sobre todo en el área de la enseñanza de las ciencias o de la matemática.

Una gran cantidad de investigaciones se han desarrollado para caracterizar y/o para analizar posibles estrategias para desarrollar el conocimiento del profesor en ejercicio (Melo et al., 2020; Darling-Hammond et al., 2017). Sin embargo, en esta investigación es de interés indagar sobre cómo se desarrolla el conocimiento del profesor en la formación inicial. A continuación, se muestran distintos trabajos de investigación que han apuntado al fortalecimiento del conocimiento del profesor de los futuros docentes en su formación inicial.

En los últimos 15 años se han realizado investigaciones que apuntan a fortalecer el Conocimiento del Profesor (CP) de docentes en formación. Algunas de ellas han analizado cómo se fortalece el CP de los estudiantes de profesorado durante cursos o programas de formación en didáctica de las ciencias (Duque, 2022; Buteler et al., 2021; Hamed et al., 2020; Mavhunga, 2019; Rivero et al., 2017; Fernández and Buforn, 2015; Martínez-Chico et al., 2015; Etkina, 2010; Faikhamta et al., 2009).

2.1. Fortalecimiento del Conocimiento del Profesor de los futuros docentes en asignaturas o cursos de Didáctica de las Ciencias

Los futuros docentes llegan a los cursos del profesorado con ideas previas (muchas de ellas implícitas) en relación a qué es enseñar y qué es aprender (Buteler et al., 2021). Es conocida la resistencia al cambio o progreso de las concepciones sobre la enseñanza-aprendizaje del profesorado en formación, cuando estas ideas están alejadas de enfoques didácticos centrados en el estudiante (Liso et al., 2021; Hamed et al., 2020; Blanco-López et al., 2018; Guisasola et al., 2013).

Desde los cursos o programas de Didáctica de la Ciencias se han desarrollado propuestas que apuntan a superar, completar o lograr un progreso de las concepciones previas que pueden tener los estudiantes de profesorado sobre la enseñanza de las ciencias. A continuación, se presentan investigaciones que han fortalecido el CP de los futuros docentes en los cursos mencionados:

El trabajo de Duque (2022) consiste en un programa de formación docente planteado desde la asignatura de Didáctica de las Ciencias para la formación del magisterio. El programa de formación tiene como finalidad permitir que el maestro y/o maestra en formación participe activamente en un proceso que le permita tanto conocer, como vivenciar un proceso en el que pueda diseñar, implementar y valorar una secuencia de aprendizaje (sobre un contenido de ciencias del currículo de primaria) basada en el modelo de aprendizaje por indagación. Para ello, a lo largo de las clases **los futuros docentes experimentan una enseñanza basada en la indagación** sobre el contenido “Naturaleza de la Ciencia”. Además se **generan espacios de reflexión sobre la metodología de enseñanza implementada en el curso**, y cómo esa metodología puede ser llevada adelante en sus futuras clases con los estudiantes de primaria.

En el trabajo de Rivero et al. (2017) se describen y analizan las propuestas elaboradas por 92 equipos de futuros maestros para enseñar contenidos concretos de ciencias al iniciar y finalizar un curso de formación inicial de orientación constructivista y tomando como referencia el modelo de investigación escolar, en el marco de la asignatura Didáctica de las Ciencias Experimentales. Los estudiantes del magisterio tienen que elaborar un diseño para enseñar un contenido de ciencias a alumnos de primaria, que deben ir reelaborando durante los diferentes momentos del curso. **El modelo didáctico seguido** en esta asignatura se denomina progresiones de aprendizaje (Duschl et al., 2011), que consiste en **ciclos de diseño, reflexión y rediseño** de propuestas de enseñanza.

En el trabajo de Mavhunga (2019), se realizó el seguimiento del desarrollo

del CP de los estudiantes del profesorado en química sobre el tópico electroquímica. Los estudiantes habían aprendido el tópico previamente al estudio en otro espacio curricular. El trabajo se enfocó en un curso paralelo que tiene como objetivo fortalecer el CP sobre el tópico mencionado. La intervención introdujo la idea de transformación didáctica como actividad clave en el desarrollo del CP de los estudiantes del profesorado de ciencias. Durante la intervención se generaron **comparaciones reflexivas entre la manera en la cual los estudiantes aprendieron electroquímica en primera instancia y la manera en la cual vuelven a trabajar ese contenido pero reestructurado didácticamente**. El corazón de este trabajo fue analizar el impacto de una reestructuración didáctica a nivel de tópico en el CP de los futuros docentes. Los resultados mostraron la necesidad de trabajar el **CP a nivel de tópico** en los centros de formación docente.

Algo similar al trabajo de [Mavhunga \(2019\)](#) ocurre en el trabajo de [Fernández and Buforn \(2015\)](#). Este último describe un módulo de enseñanza del Grado en Maestro en Educación Primaria centrado en el objetivo de **desarrollar el CP para enseñar el tópico** del razonamiento proporcional. La asignatura en la que ha sido implementado el módulo de enseñanza es Enseñanza y Aprendizaje de las Matemáticas en Educación Primaria del Grado en Maestro en Educación Primaria. A lo largo del módulo los estudiantes para maestro re-aprendieron algunos aspectos relativos a las componentes del razonamiento proporcional. Además, generaron **instancias de reflexión sobre cómo los estudiantes aprenden este contenido particular** y qué consideraciones son necesarias tener en cuenta para el diseño de actividades para que estudiantes de primaria se apropien del contenido.

En el trabajo realizado por [Martínez-Chico et al. \(2015\)](#), los autores evaluaron una propuesta formativa para futuros maestros con un enfoque de enseñanza de las ciencias por indagación. El programa diseñado se puso en práctica en la asignatura Didáctica de las Ciencias Experimentales I en la carrera de Grado de Maestro de Primaria de la Universidad de Almería. En la propuesta se combinaron la **reflexión explícita sobre la naturaleza de los conocimientos científicos** trabajados, **sobre cómo están aprendiendo y sobre cómo enseñar** con la **vivencia de una experiencia de aprendizaje** basada en la indagación y centrado en la construcción y uso de modelos, en concreto, para el tópico Sol-Tierra.

También en el trabajo de [Buteler et al. \(2021\)](#) se hace alusión a la **importancia que los futuros docentes experimenten las formas de enseñanza que se pretenden que ellos realicen en sus futuras prácticas**.

“El cambio metodológico fue propuesto para que los estudiantes vivenciaran una enseñanza que tuviera en cuenta sus ideas previas sobre cada temática a trabajar. Se priorizó la coherencia entre la dinámica de las clases de Didáctica de la Física y las clases que se les pedía a los estudiantes que planifiquen al desarrollar la unidad didáctica al final del curso (y eventualmente las clases que desarrollarían durante sus prácticas el año siguiente)”

(Buteler et al., 2021, p 3601-4)

El trabajo de Buteler et al. (2021) consistió en la reestructuración didáctica de la asignatura Didáctica y Taller de Física de la carrera del profesorado de Física. La dinámica de enseñanza utilizada en cada tema abordado en la asignatura comienza con un problema (situaciones problemáticas, preguntas, testimonios de clase), sigue con la socialización de las respuestas de los estudiantes, esas respuestas son tensionadas (por los otros estudiantes y/o por los docentes), luego el docente aporta nuevo conocimiento, después se propone a los estudiantes resolver problemas integradores con aporte de los nuevos conocimientos, y finalmente se los invita a comunicar los resultados. Los resultados mostraron que los estudiantes se habían involucrado en la asignatura de manera auténtica, tanto a nivel personal como a nivel colectivo, de un modo inesperado para los docentes del curso.

El trabajo de Etkina (2010) trata sobre un programa de formación docente de Física. El programa se centra en tres aspectos de la preparación del profesorado: conocimiento de la física, conocimiento de la pedagogía y conocimiento de cómo enseñar física. **Los futuros docentes del curso en primera instancia, aprenden a través de métodos interactivos** a investigar fenómenos físicos y a construir sus propios conceptos en correspondencia con el conocimiento canónico. En una segunda etapa, trabajan individualmente **reflexionando sobre la experiencia de clase**, estudiando recursos adicionales y escribiendo sobre cómo los físicos construyeron un concepto en concreto y luego planificando cómo enseñarán esa idea o concepto en una clase de secundaria con la metodología experimentada.

El trabajo de Hamed et al. (2020) describe y analiza la progresión del aprendizaje de los futuros profesores de primaria durante un curso inicial de formación docente sobre cómo enseñar ciencias a través de la investigación. La **metodología** de la propuesta se basa en que los futuros docentes **elaboren secuencias de enseñanza, reflexionen sobre lo construido** guiados por un cuestionario, reelaboren el diseño realizado y vuelvan a repetir el ciclo. Además, en cada iteración los estudiantes realizaban actividades de **análisis de videos de clases**

reales modélicas, en las cuales se utilizaba la metodología de la investigación como estrategia didáctica. Por último, en cada repetición del proceso, los autores evaluaron el progreso de los estudiantes en relación a cómo enseñar bajo la metodología de la investigación.

En el trabajo de [Faikhamta et al. \(2009\)](#) se investigó la trayectoria de cuatro profesores tailandeses de química en formación en su intento de desarrollar su CP a lo largo de un curso de métodos de enseñanza de química basado en una experiencia de práctica docente. El curso constó de dos bloques: actividades en el aula y actividades en la escuela. En las actividades en el aula, se realizaron un conjunto de actividades que incluía discusiones en clase sobre el contenido, lecturas académicas sobre la naturaleza de la ciencia, la enseñanza basada en el constructivismo, las concepciones de los estudiantes, el análisis de clases grabadas en vídeo y **la reflexión sobre la enseñanza de los participantes** y la de sus compañeros. Según los autores, estas actividades permitieron que los estudiantes del profesorado amplíen sus conocimientos básicos sobre el contenido disciplinar, adopten puntos de vista sobre la naturaleza de la ciencia, y sobre la enseñanza centrada en los estudiantes.

Un punto importante y de interés para esta Tesis Doctoral, es que en muchas de las investigaciones relevadas, la propuesta de mejora y fortalecimiento del CP se basa en la reconstrucción didáctica del programa o curso. Esa reconstrucción apunta a que los estudiantes experimenten el aprendizaje de los modos de enseñanza, que se pretende que aprendan. Esta coherencia entre la metodología enseñada en los centros de formación docente y la utilizada por los formadores de profesores, ha sido anunciada desde hace décadas como una condición que los institutos de formación docente deben perseguir y ofrecer a sus estudiantes ([Marcelo, 1994](#); [Gunstone et al., 1993](#); [Hewson, 1993](#); [Blanco Nieto, 1991](#)). Esto se basa en principios de ética profesional y el sentido común. Sin embargo, el aporte que emerge de esta revisión son los beneficios en el aprendizaje de los modos de enseñanza que implica la coherencia descripta.

Otro punto en común en muchos de los trabajos revisados en esta sección es la presencia de instancias de reflexión sobre la metodología de aprendizaje experimentada. La mirada reflexiva sobre el proceso de enseñanza y aprendizaje, ha mostrado una contribución potente en el desarrollo del CP de los futuros docentes.

Además de los trabajos descriptos en este apartado de la revisión, otras investigaciones han estudiado cómo fortalecer el CP de los futuros docentes en las primeras prácticas de la enseñanza ([Baki and Arslan, 2022](#); [Coetzee et al., 2020](#)).

2.2. Fortalecimiento del CPC de los futuros docentes en las prácticas pre profesionales.

Las prácticas de la enseñanza se consideran los espacios en dónde los estudiantes de profesorado tienen la posibilidad de integrar conocimientos disciplinares con los conocimientos didácticos aprendidos a lo largo de su formación. A continuación, se presentan investigaciones relevadas que han estudiado cómo se fortalece el CP del futuro profesor durante las prácticas de enseñanza pre-profesionales

El trabajo de [Coetzee et al. \(2020\)](#) es un estudio de caso cualitativo e interpretativo para investigar hasta qué punto los futuros profesores durante sus prácticas aplicaron los conocimientos impartidos durante un curso de método de ciencias físicas al enseñar electromagnetismo por primera vez. En primera instancia los profesores en formación asistieron a un curso de metodología de la enseñanza de las ciencias físicas durante el cual se enseñan explícitamente los componentes del CP, aplicados al tema del electromagnetismo. **El estudio resalta la importancia que adquiere la reflexión del contenido específico pensado para su enseñanza.** La realización de rúbricas con preguntas y respuestas vinculadas a los sentidos y objetivos de enseñanza del contenido, las ideas previas de los estudiantes, y los recursos didácticos que se pueden utilizar para esa enseñanza, cumplen un factor relevante en el desarrollo del CP de los futuros docentes

En el trabajo de [Baki and Arslan \(2022\)](#) observaron y evaluaron 12 lecciones de estudiantes del profesorado de primaria durante el curso Práctica Docente II. Diferenciaron a los participantes en grupo control y grupo experimental. El grupo experimental recibió una formación complementaria que consistió en el análisis y reflexión sobre diseños de clases. Esta formación complementaria contribuyó a que los futuros docentes pertenecientes al grupo experimental tuvieran un mejor desempeño en sus prácticas. En el contexto de las primeras prácticas pre-profesionales de los futuros docentes, algunos estudios de investigación se han centrado en la tarea desempeñada por los docentes orientadores de las prácticas ([Abukari et al., 2022](#); [Nilssen, 2010](#); [Nilsson and Van Driel, 2010](#)). En lo que sigue se detallan los emergentes de los trabajos revisados.

En el trabajo de [Nilssen \(2010\)](#) se destaca la tarea del docente orientador de las prácticas como personas de confianza en el entorno de la formación del profesorado. Menciona que los orientadores están bien situados para introducir a los principiantes en el mundo invisible de la enseñanza. **La planificación guiada** se considera una oportunidad de aprendizaje. Esta forma de planificación **ayuda a los futuros docentes a comprender no sólo lo que hacen los profesores más experimentados cuando planifican la enseñanza**, sino también qué piensan sobre la planificación, qué tienen en cuenta y por qué. Estas conclusiones

son revalidadas por el trabajo de Abukari et al. (2022). En este último trabajo se diseñó una encuesta descriptiva que fue respondida por 120 profesores en formación y seis docentes orientadores de ciencias de dos facultades de educación. Se encontró que el CP sobre el contenido de los orientadores de ciencias tiene una influencia positiva en el desarrollo del CP de sus profesores en formación. **El estudio también reveló que los estudiantes del profesorado en muchos casos adoptan las formas de enseñanza similar a las utilizadas por sus docentes orientadores.**

En el trabajo de Nilsson and Van Driel (2010) también destacan la importancia del aprendizaje en conjunto entre estudiantes de profesorado y orientadores. En esta investigación se examinó lo que los estudiantes de magisterio y sus orientadores aprenden al planificar y reflexionar juntos sobre las clases de ciencias de los demás. Los estudiantes de magisterio habían recibido formación en conocimientos científicos, pero sólo contaban con una breve experiencia docente. Los orientadores tenían mucha experiencia en la pedagogía de la enseñanza, pero no se sentían seguros de sus conocimientos científicos y de la enseñanza de las ciencias. **A lo largo del proceso de enseñanza y reflexión conjunta, los estudiantes y los orientadores mostraron cómo se enriquecen los CP de ambos.**

Zanting et al. (1998) ya se adelantaba a los resultados expuestos en esta sección de la revisión, al mencionar que los profesores en formación son considerados principalmente como aprendices de la enseñanza más que como ejecutantes de la enseñanza. Por lo tanto, **el principal objetivo de los profesores en formación durante el curso de práctica docente es aprender de las experiencias profesionales de los docentes orientadores mediante el análisis de sus lecciones y la reflexión sobre posibilidades alternativas de enseñanza.**

Por su parte, Nilssen (2010) hizo hincapié en que las formas de enseñanza de los profesores cooperantes de la práctica docente (es decir, los docentes a cargo de los cursos en dónde los estudiantes de profesorado realizan sus prácticas de enseñanza) contribuyen de manera esencial al desarrollo CP de los profesores en formación. Mencionó que **los profesores cooperantes de la escuela sirven como modelo para los profesores en formación y les muestran cómo integrar el conocimiento de los estudiantes, el conocimiento de la materia y la pedagogía durante la enseñanza.** Dentro del campo de la práctica docente se han llevado adelante varias investigaciones que aportan al desarrollo del CP de los futuros docentes mediante el diseño e implementación de microclases. La microclase es la práctica que realiza un estudiante de profesorado al diseñar e implementar una propuesta de enseñanza en poco tiempo y en clases

reducidas, delante de sus compañeros y bajo la supervisión de un tutor (Orradre et al., 2021; Pekdağ et al., 2021; Boz and Belge-Can, 2020; Nasar et al., 2020; Udomkun et al., 2018; Kartal et al., 2012). En esta estrategia, los compañeros de quien está implementando la propuesta simulan ser estudiantes del nivel para el cual se forman. Se intenta recrear el espacio del aula en un contexto controlado y de menor exposición para el practicante.

Se entiende a la microclase como

“... un procedimiento de entrenamiento cuyo objetivo es que el profesor observe, en una situación controlada, su modo de actuar. Es decir, una práctica que un docente en formación lleva a cabo en un tiempo breve, con un grupo pequeño de alumnos (en una situación de laboratorio, en general con sus propios compañeros en el rol de alumnos), con el fin de desarrollar habilidades específicas, como por ejemplo, aprender a usar el pizarrón de manera organizada acompañando la exposición, conducir un interrogatorio didáctico, ... “

(Anijovich et al., 2021, p 120)

Como se ha mencionado existe un registro amplio de investigaciones que reportan resultados al implementar la estrategia de microclases en la formación de futuros docentes. A continuación se muestran los emergentes de algunas de ellas. En el trabajo de Orradre et al. (2021) las microclases, se llevaron adelante con la totalidad de estudiantes (seis) que cursaron Práctica Educativa II del Profesorado en Química. Las docentes a cargo de la materia, acompañaron la elaboración de las planificaciones de cada microclase, tratando de no interferir demasiado en las acciones planteadas por los futuros profesores. **Los resultados mostraron que este ejercicio de “actuar la clase” contribuye a encaminar, reflexionar y determinar qué acciones reformular sobre la enseñanza.** Las autoras mencionan que la enseñanza de la Química no engloba solamente un docente formado en la disciplina, sino que quienes están encargados de la formación de los futuros docentes, deben enfocarse en que se apropien de su tarea en cuanto a su saber disciplinar y en su saber enseñar basándose en la reflexión. Algo similar ocurre en el trabajo de Nasar et al. (2020), en esta investigación los autores concluyen en la **relevancia de las instancias de reflexión** durante la implementación de microclases. En este trabajo resaltan que las experiencias de microclases le permiten a los futuros docentes vivenciar retos y desafíos de enseñanza, seguidos de instancias de reflexión sobre las acciones desarrolladas previamente tanto en el diseño de la propuesta como en la implementación de la misma.

Estos resultados expuestos en esta sección de la revisión son validados por diferentes estudios (Pekdağ et al., 2021; Boz and Belge-Can, 2020, Udomkun

et al., 2018; Kartal et al., 2012). Los resultados de estos trabajos indican que el CP de los estudiantes de profesorado muestra un desarrollo con la utilización de esta estrategia. En todos los trabajos los autores coinciden en que la **reflexión sobre la acción**, el conocimiento del contenido, el conocimiento pedagógico y didáctico de los participantes son factores que influyen significativamente en el desarrollo del CP de los futuros docentes mediante el uso de la microclase.

De la revisión de la literatura realizada en esta sección emerge un denominador común en los trabajos analizados. En todos los casos, ya sea en las primeras prácticas, en las microclases o analizando los modos de enseñanza del docente orientador, los estudiantes del profesorado se enfrentan a la materialización de los principios didácticos en una planificación de la enseñanza de un tópico particular. Esto brinda la posibilidad de generar espacios de reflexión sobre la enseñanza, que son reconocidos como instancias importantes para el desarrollo del CP de los futuros docentes.

2.3. Fortalecimiento del CPC de los futuros docentes desde las asignaturas o cursos disciplinares

Hasta aquí se han mostrado distintos trabajos de investigación que reportan estrategias para el fortalecimiento del CP de los futuros docentes. Sin embargo, en todos estos reportes el abordaje de la mejora o fortalecimiento en el CP anida en el campo de la didáctica o de la práctica, y no en el campo disciplinar, es decir, no están planteados desde las materias disciplinares. Salvo en el estudio de [Martínez-Chico et al. \(2015\)](#), en el resto de los casos se asume que los contenidos disciplinares de física ya han sido aprendidos por los futuros docentes y no se considera como variable de análisis la manera en la cual éstos contenidos han sido enseñados. Sin embargo, el conocimiento disciplinar de los profesores está relacionado con el propio proceso de enseñanza de ese contenido ([Lederman et al., 1994](#); [Shymansky et al., 1993](#); [Pomeroy, 1993](#); [Ciscar, 1992](#); [Hauslein et al., 1992](#)).

Existe evidencia que el conocimiento de la disciplina es un requisito mínimo para desarrollar el CP en los futuros docentes ([Oztay and Boz, 2022](#); [Güle and Çelik, 2018](#)). Pero poco se sabe sobre cómo impacta la manera en la cual los futuros docentes se apropian del contenido disciplinar y, al mismo tiempo, aprenden sobre las formas de enseñanza de ese contenido, es decir fortalecen su CP.

Pocos trabajos han planteado la mejora o fortalecimiento del CP de los futuros docentes de ciencias desde las asignaturas disciplinares. A continuación, se exponen trabajos en los cuales se ha investigado sobre el impacto de la reconstrucción

didáctica de un espacio o programa centrado en el conocimiento disciplinar, en el aprendizaje de estrategias de enseñanza para este tema.

El trabajo de [Sperandeo-Mineo et al. \(2006\)](#) se centra en el proceso de transformación del conocimiento científico al conocimiento escolar, y en las estrategias cognitivas utilizadas para cambiar las explicaciones de los futuros docentes dentro del ámbito de la modelización de fenómenos térmicos. Este estudio investiga el desarrollo del CP dentro de un grupo de 28 estudiantes del profesorado de física. Se focaliza en las relaciones entre las propiedades térmicas macroscópicas de la materia, y su interpretación y/o explicación en términos de características corpusculares microscópicas. La propuesta se diseñó para proporcionar un entorno de enseñanza/aprendizaje dirigido a:

1. Permitir a los estudiantes del profesorado hacer explícitas sus representaciones mentales y estimular distintos procesos de construcción de explicaciones mediante la negociación en la investigación colaborativa;
2. Hacer que los futuros docentes experimenten los mismos entornos y metodologías de aprendizaje que se supone que desarrollarán en sus futuras aulas.
3. Dotar a los estudiantes de profesorado de herramientas pedagógicas adecuadas para conceptualizar modelos físicos y adquirir las habilidades relacionadas con los procedimientos de modelización.
4. Implicar a los alumnos en actividades que estimulen el aprendizaje práctico y la meta reflexión sobre los procesos de aprendizaje experimentados.

Los resultados muestran que el enriquecimiento del conocimiento de la materia implica un mayor conocimiento de las cuestiones pedagógicas. En las conclusiones exponen que el entorno de enseñanza/aprendizaje implementado ha sido efectivo para guiar a los estudiantes de profesorado hacia la construcción de un CP adecuado. Para los autores, permitir que los estudiantes experimenten los mismos entornos de aprendizaje que se supone que implementarán en sus futuras aulas tiene una doble ventaja: pueden verificar directamente su validez pedagógica y, al mismo tiempo, utilizarlos para dominar el tema de la física a nivel de comprensión conceptual que necesitarán desarrollar en sus futuros estudiantes.

El trabajo de [Rosa Cintas et al. \(2019\)](#), analiza si los estudiantes del profesorado de primaria, son capaces de utilizar la metodología de enseñanza problematizadora en una unidad didáctica denominada “Las estaciones del año”, después de haber vivido dicha metodología como alumnos cuando trabajaron el mismo tópico. En ese estudio los autores advierten que **los futuros docentes son capaces de reproducir algunos aspectos de la metodología vivida cuando**

aprendieron el contenido, en la elaboración de sus propias propuestas sobre el mismo contenido.

El trabajo de [Mäntylä and Nousiainen \(2014\)](#) es una revisión, en donde se presentan y discuten reconstrucciones didácticas de procesos (DRoP) y estructuras (DRoS) sobre contenidos de física, y cómo afectan las formas en que los profesores en formación pueden consolidar su conocimiento de la materia. Estas reconstrucciones didácticas se basan en evidenciar una manera en la cual se produce la construcción del conocimiento. En general, los resultados muestran que las DRoP y DRoS ayudaron a organizar el conocimiento de la física al dar a los estudiantes pautas sobre cómo comenzar y proceder para alcanzar un conocimiento "nuevo", y cómo los experimentos y modelos pueden ser utilizados para apoyar este proceso. **Las reconstrucciones didácticas diseñadas y reportadas en esta revisión ayudan a los estudiantes a alcanzar una visión reflexiva y metacognitiva sobre su conocimiento y su proceso de construcción.** Los investigadores de este trabajo comentan que si los estudiantes son capaces de advertir su propio proceso de aprendizaje, les permitirá diseñar propuestas coherentes con la metodología didáctica recibida

Por último, en el trabajo de [Abdurrahman \(2013\)](#) se intentó identificar un conjunto de componentes del CP que se desarrollaron a través de una instrucción sobre física cuántica basada en el enfoque de representación múltiple. Este enfoque consta de las siguientes etapas:

1. **Identificar los conceptos claves**, es decir, identificar los conceptos claves o las ideas principales del tema a estudiar. Esta es la base para preparar, construir y crear modos o formatos de representación utilizados por profesores y estudiantes en el aula. En este estudio, se desarrolló para los temas del Efecto Fotoeléctrico y el Modelo Atómico de Bohr.
2. **Centrarse en la forma y las funciones**, es decir, el profesor se centra en diversos modos o formas y funciones de representación de acuerdo con la idea principal del tema estudiado. Por ejemplo, la simulación de la liberación de electrones de la superficie de un metal iluminado por luz con una determinada frecuencia en el caso del efecto fotoeléctrico, pueden explicar sucesos microscópicos cuyos fenómenos no pueden observarse directamente.
3. **Secuencia**: se pueden crear una serie de representaciones de fenómenos físicos en una secuencia en función de las características o ideas principales que se pretenden abordar y las concepciones iniciales de los alumnos. Por ejemplo, si el contenido es abstracto, el aprendizaje comienza con la visualización o simulación de los conceptos para estimular la imaginación y

el interés de los alumnos. Se intenta evitar las formulaciones matemáticas en primera instancia. Se pretende ir avanzando en aprendizajes cualitativos sobre el fenómeno para posteriormente realizar (si es necesario) la representación matemática.

4. **Evaluación continua:** los profesores pueden realizar una serie de evaluaciones tanto formativas, diagnósticas, sumativas, y de autoevaluación sobre las distintas representaciones utilizadas para el aprendizaje de los fenómenos físicos.

Los participantes en esta investigación fueron 37 profesores de física en formación. **Durante el curso, los futuros docentes recibieron formación para desarrollar su CP en cada secuencia de aprendizaje de forma indirecta, es decir, a través de la experiencia vivida durante el aprendizaje del contenido disciplinar.** Los resultados revelaron que los estudiantes no sólo aprendieron sobre física cuántica sino que también, aprendieron sobre la manera de enseñar ese contenido.

Un denominador común encontrado en las investigaciones reportadas en esta sección de la revisión, consiste en la utilización de la metodología de enseñanza que se pretende que los estudiantes aprendan y utilicen con sus futuros estudiantes.

Es importante notar que, si bien tanto en las experiencias reportadas en [Mäntylä and Nousiainen \(2014\)](#) y como la descrita en [Sperandeo-Mineo et al. \(2006\)](#) corresponden a reconstrucciones didácticas para trabajar un contenido específico en el marco de la metodología de enseñanza que se busca fomentar en los estudiantes de profesorado, estas experiencias no corresponden al momento en el cual los futuros docentes se encuentran con el contenido por primera vez. Esto no quita el valor de los hallazgos obtenidos en esa investigaciones, pero sí es importante reconocer que los futuros docentes ya conocían el contenido, aunque de forma incompleta o no relacionada con el proceso de enseñanza, antes de vivir las propuestas didácticamente reconstruidas.

Uno de los aspectos importantes de la revisión de la literatura para esta Tesis Doctoral radica en la viabilidad de incorporar los emergentes de los trabajos relevados en esta revisión en el contexto del Profesorado de Física de la Provincia de Córdoba. En ese contexto, es relevante notar que los espacios curriculares ya están definidos por el currículum prescripto, y no existen asignaturas en dónde se pueda llevar a cabo reconstrucciones didácticas de contenidos ya aprendidos por los estudiantes como en las experiencias reportadas en [Mäntylä and Nousiainen \(2014\)](#) y como la descrita en [Sperandeo-Mineo et al., 2006](#). Sin embargo, es valioso reconocer cómo el CP de los futuros docentes puede ser fortalecido desde el abordaje de un contenido disciplinar.

Los trabajos de [Rosa Cintas et al. \(2019\)](#) y [Abdurrahman \(2013\)](#), son antecedentes que permiten reconocer la posibilidad del fortalecimiento del CP de los futuros docentes desde las asignaturas disciplinares en el contexto de primer contacto de los estudiantes con el contenido específico de la disciplina.

Se coincide con lo expuesto en [Rosa Cintas et al. \(2019\)](#) y [Sperandeo-Mineo et al. \(2006\)](#), en relación a que es conveniente analizar producciones de los estudiantes para caracterizar su CP. Utilizar encuestas de opinión de los estudiantes sobre la metodología de enseñanza usada como en [Abdurrahman \(2013\)](#) podría no dar cuenta de lo que los estudiantes se han apropiado sobre los modos de enseñanza experimentados. Esto se basa en la posibilidad de que exista una distancia entre lo que los estudiantes dicen haber aprendido sobre la metodología de enseñanza y lo que verdaderamente hacen con ese conocimiento a la hora de diseñar propuestas didácticas.

2.4. Síntesis de la revisión de la literatura sobre investigaciones que apuntan al fortalecimiento del CPC

Recuperando la literatura revisada para este trabajo de Tesis Doctoral, es posible destacar los siguientes emergentes:

- Las reconstrucciones didácticas que pretenden que los estudiantes de profesorado no sólo aprendan sobre el contenido disciplinar sino también sobre su enseñanza, deben ser coherentes con la metodología de enseñanza que se pretende que los futuros docentes aprendan.
- El análisis y las reflexiones de casos modélicos o ejemplares de enseñanza son una forma de fortalecer el CP de los futuros docentes
- La reflexión sobre la práctica experimentada por los futuros docentes es un pilar en el desarrollo del CP.
- Los aportes al desarrollo del CP de los futuros docentes no se logra sólo desde las asignaturas didácticas y pedagógicas.
- Existen antecedentes en dónde los futuros docentes reproducen algunos aspectos de las estrategias de enseñanza que ellos experimentaron para el aprendizaje de un contenido disciplinar.
- Existe una carencia de trabajos de investigación que apunten a fortalecer el CP de los estudiantes desde las asignaturas disciplinares.

- Existe una necesidad de aportar evidencias sobre qué aspectos del CP se pueden fortalecer desde las asignaturas disciplinares.

2.5. Aproximación a una de las preguntas de investigación

Ante los emergentes de la revisión de la literatura realizada en esta sección, la necesidad local de mejorar la formación inicial del profesor de física en consonancia con los resultados de investigación en didáctica de las ciencias ([Velasco and Buteler, 2023](#)), y atendiendo a que la mejora debe incrustarse en el marco del diseño curricular jurisdiccional, respetando las asignaturas y contenidos establecidos, surge uno de los interrogantes que guiará la presente investigación:

¿Cómo se fortalece el Conocimiento del Profesor de los futuros docentes de física desde los espacios curriculares disciplinares, cuando estos se diseñan en base a los resultados de investigación en didáctica de las ciencias?

3.1. Conocimiento Pedagógico del Contenido

3.1.1. Fundamentación

Como se ha comentado en el capítulo anterior el Conocimiento del Profesor (CP) ha sido nombrado desde diferentes marcos teóricos. El marco teórico del Conocimiento Pedagógico del Contenido (CPC), desarrollado por Lee Shulman en 1986 es el más utilizado para describir el CP. Más allá que esta conceptualización sobre el CP data de casi 40 años, sigue siendo una perspectiva relevante y valiosa para la investigación del conocimiento docente en el ámbito educativo ([Botha et al., 2023](#); [Smit et al., 2023](#); [Wells et al., 2023](#); [Chan and Hume, 2019](#)).

Este enfoque conserva su relevancia ya que reconoce que el conocimiento del profesor abarca múltiples dimensiones, incluyendo la integración del conocimiento del contenido y el conocimiento pedagógico. Otro aspecto que sostiene su importancia es el énfasis en la práctica pedagógica como espacio fundamental para comprender cómo los profesores enseñan en la actualidad. Este marco teórico pone como aspecto relevante la contextualización del conocimiento. Los profesores deben adaptar sus enfoques según el contexto y las necesidades específicas de sus estudiantes ([Vázquez-Alonso and Manassero-Mas, 2019](#); [Cochran-Smith and Zeichner, 2009](#)).

Por último, la complejidad de la enseñanza y el aprendizaje sigue siendo un tema de investigación importante en la educación, y el CPC de Shulman proporciona un marco sólido para explorar esta complejidad tanto en el contexto internacional como en el ámbito local ([Ottogalli and Bermudez, 2022](#); [Ingersoll](#)

et al., 2014)

3.1.2. Definición del CPC

La idea de que un profesor posee una base de conocimientos única que va más allá del conocimiento del contenido y del conocimiento de las estrategias pedagógicas, ha llamado la atención de los investigadores educativos. Esta combinación única de dominios de conocimiento fue descrita por Shulman (1986). Lo denominó Conocimiento Pedagógico del Contenido (CPC). **Bajo el nombre de CPC se refiere a aquellos aspectos del contenido, cuyo conocimiento es relevante para la enseñanza, incluyendo "los tópicos que más regularmente se enseñan en un área, las formas más útiles de representación de las ideas, las analogías más poderosas, las ilustraciones, ejemplos, explicaciones y demostraciones"** (Shulman, 1986). El CPC abarca los conocimientos de la disciplina, de los aprendices, de la escuela, de la vida de las aulas, de los documentos curriculares y de los recursos didácticos, entre otros. Desde la concepción inicial de Shulman, los investigadores han utilizado este constructo, sobre todo en matemáticas y ciencias, para describir con más detalle cuál es la base de conocimientos única de los profesores. Inicialmente Shulman (1987) propuso que el CPC estaba conformado principalmente por dos elementos:

- Representaciones y estrategias de instrucción didáctica de un contenido en particular.
- Dificultades de aprendizaje específicas de los estudiantes en relación a un contenido específico.

Aunque la comunidad de la enseñanza de las ciencias ha adoptado la idea del CPC, han surgido diversos debates sobre su naturaleza y contenido a medida que los investigadores y educadores se han esforzado por utilizar el constructo en sus trabajos. Múltiples enfoques divergentes se han desarrollado en torno al constructo del CPC (Abell, 2008). Esto se debe a que caracterizar al CPC es una tarea difícil porque gran parte de este conocimiento es interno y los profesores no siempre reconocen que tienen un conocimiento especializado. A continuación, se expone un breve recorrido de la evolución de los modelos del CPC más utilizados en la investigación sobre formación y desarrollo profesional docente.

3.1.3. Evolución del Modelos sobre el CPC

Los modelos permiten desentrañar los componentes de fenómenos complejos y proporcionan las relaciones entre los distintos aspectos de los fenómenos a conceptualizar. Como se ha mencionado, desde los artículos de Shulman de 1986 y

1987 se han propuesto varios modelos de CPC. En este apartado se han seleccionado algunos de los principales modelos, que caracterizan al Conocimiento del Profesor.

En primer lugar es importante reconocer que existen dos grandes grupos de modelos que adoptan posiciones epistemológicas diferentes en relación a la naturaleza del CPC (Fig. 3.1). Por un lado están aquellos modelos que se enmarcan dentro de una concepción transformativa. Los modelos transformativos se caracterizan por considerar que el CPC es un tipo de conocimiento nuevo y distinto al conocimiento del contenido y al conocimiento pedagógico. Por otro lado, se encuentran los modelos enmarcados desde una concepción integrativa del CPC. Los modelos integrativos consideran al CPC como el punto de contacto entre diferentes campos de conocimiento, el disciplinar, el pedagógico y el del contexto (Gess-Newsome, 1999). Una analogía de la química puede ayudar a hacer la distinción. Cuando dos materiales se mezclan, pueden formar una mezcla o un compuesto. En una mezcla, los elementos originales siguen siendo químicamente distintos. Independientemente del nivel de combinación aparente, los ingredientes originales de una mezcla pueden separarse mediante métodos relativamente poco sofisticados. En cambio, los compuestos se crean por adición o liberación de energía. Los ingredientes ya no pueden separarse fácilmente y sus propiedades iniciales ya no pueden detectarse. Un compuesto es una sustancia nueva, distinta de sus ingredientes originales, con propiedades químicas y físicas que la distinguen de todas las demás sustancias.

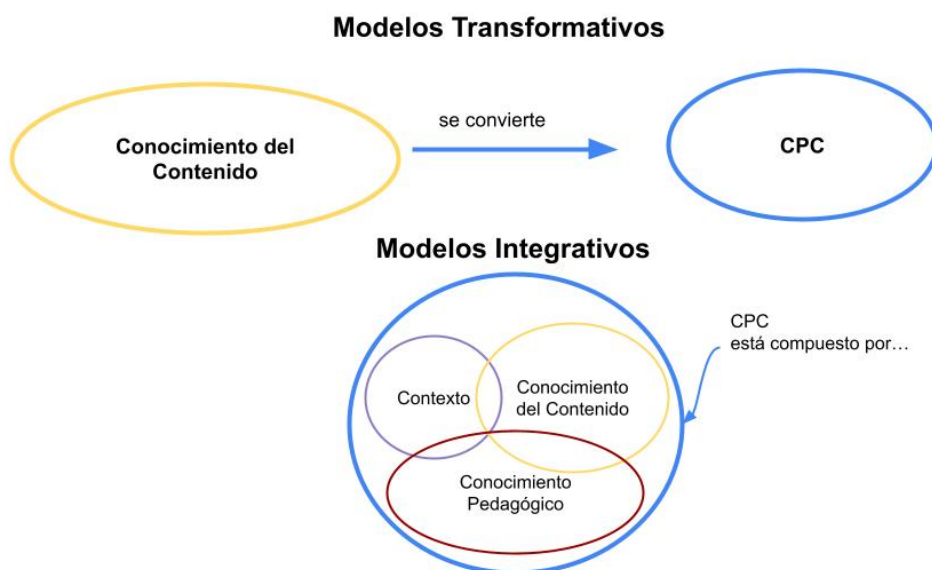


Figura 3.1: Modelos transformativos e integrativos del CPC.

En cuanto a los modelos de CPC, el modelo integrador es similar al descrito

para una mezcla. En la práctica en el aula se combinan elementos de conocimiento de la materia, la pedagogía y el contexto. Por su parte, el modelo transformativo implica que estas bases de conocimientos iniciales se combinan de forma inextricable en una nueva forma de conocimiento. La amalgama resultante es más interesante y poderosa que sus partes constituyentes.

Coincidimos en que el CPC es más que la suma de sus componentes, es un corpus de conocimiento nuevo que surge de sus bases pero que adquiere características particulares y específicas en cada contexto de enseñanza. Es por ello que describiremos a continuación, la evolución de los modelos del CPC de corte transformativo. Los modelos transformativos que surgieron directamente de la propuesta de Shulman se centraron en desarrollar descripciones progresivamente más detalladas del CPC. Entre los más relevantes se encuentran los dos modelos que surgieron a partir del trabajo de Shulman y quienes lo ampliaron fueron Grossman (1990) y Magnusson et al. (1999). Estos dos modelos muestran la creciente complejidad de la conceptualización del CPC.

El modelo de Grossman (Fig. 3.2) amplió el modelo de Shulman y añadió el conocimiento del contexto, al conocimiento de la materia y al conocimiento pedagógico general. Este modelo da cuenta de que el conocimiento sobre la enseñanza del contenido adquiere particularidades específicas según el contexto de enseñanza.

Además en su artículo, la autora propuso pensar al Conocimiento Pedagógico del Contenido en 4 sub-componentes:

1. **Concepciones sobre los propósitos de la enseñanza del contenido:** que son las creencias que tiene el profesor con respecto a la naturaleza y la importancia del contenido que se enseña.
2. **Conocimiento sobre la manera en la que comprenden los estudiantes:** que incluye el conocimiento de las ideas previas o modelos alternativos de los estudiantes.
3. **Conocimientos curriculares:** que comprenden los contenidos, objetivos y orientaciones propuestas por los documentos curriculares.
4. **Conocimiento de las estrategias de instrucción:** se refiere al conocimiento de las estrategias y representaciones necesarias para la enseñanza de cada tema.

Basándose en los trabajos de Shulman y Grossman, Magnusson et al. (1999) conceptualizaron al CPC como un conjunto de cinco componentes (Fig. 3.3). En este nuevo modelo aparece la evaluación como un elemento importante en el CPC.

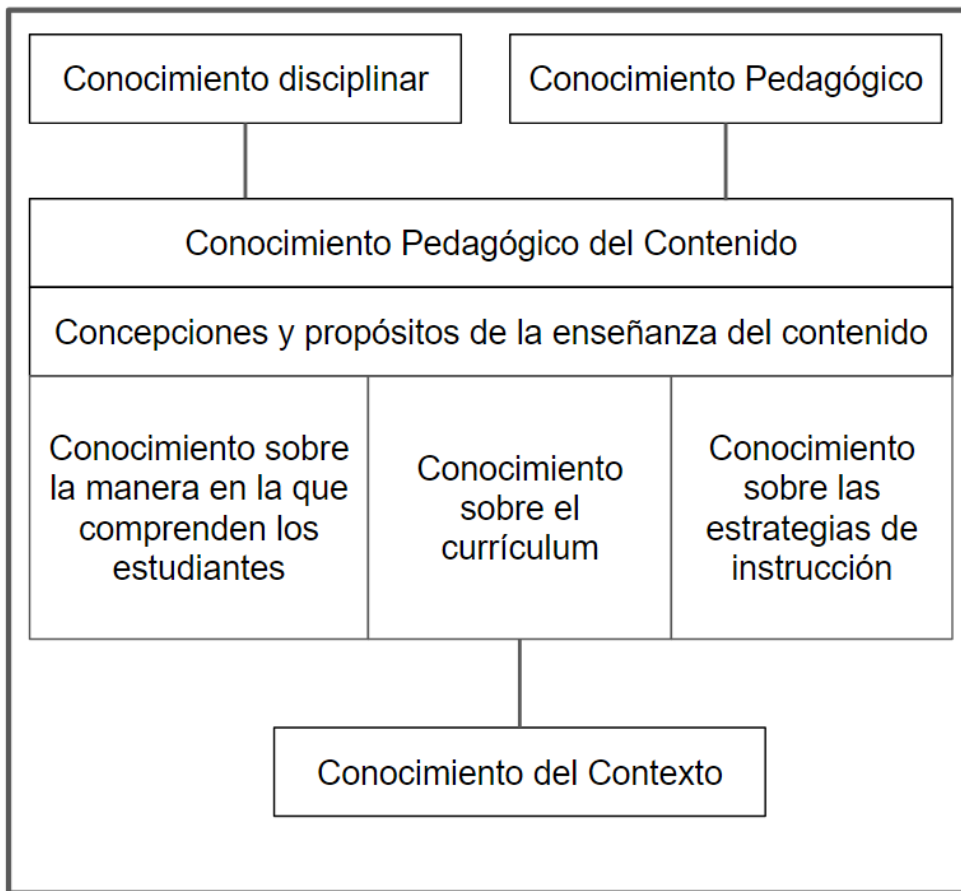


Figura 3.2: Modelo del CPC de Grossman (1990).

A continuación se listan los 5 componentes del modelo de Magnusson et al. (1999) para el CPC:

1. **Orientaciones hacia la enseñanza de las ciencias:** esta categoría es similar a la de Grossman denominada concepciones sobre los fines de la enseñanza de la materia
2. **Conocimiento de los planes de estudios científicos:** esta categoría es similar a la de Grossman denominada conocimiento curricular, que incluye la comprensión y el conocimiento de los contenidos, objetivos y orientaciones sobre la enseñanza de las ciencias.
3. **Conocimiento de la manera en la que los estudiantes comprenden las ciencias:** corresponde al ítem 2 expuesto por Grosman
4. **Conocimiento de las estrategias de enseñanza de las ciencias:** Corresponden al ítem 4 expuesto por Grosman
5. **Conocimiento de la evaluación:** se trata de un añadido al modelo de

Grossman y se refiere a la capacidad del profesor para decidir qué material debe evaluar.

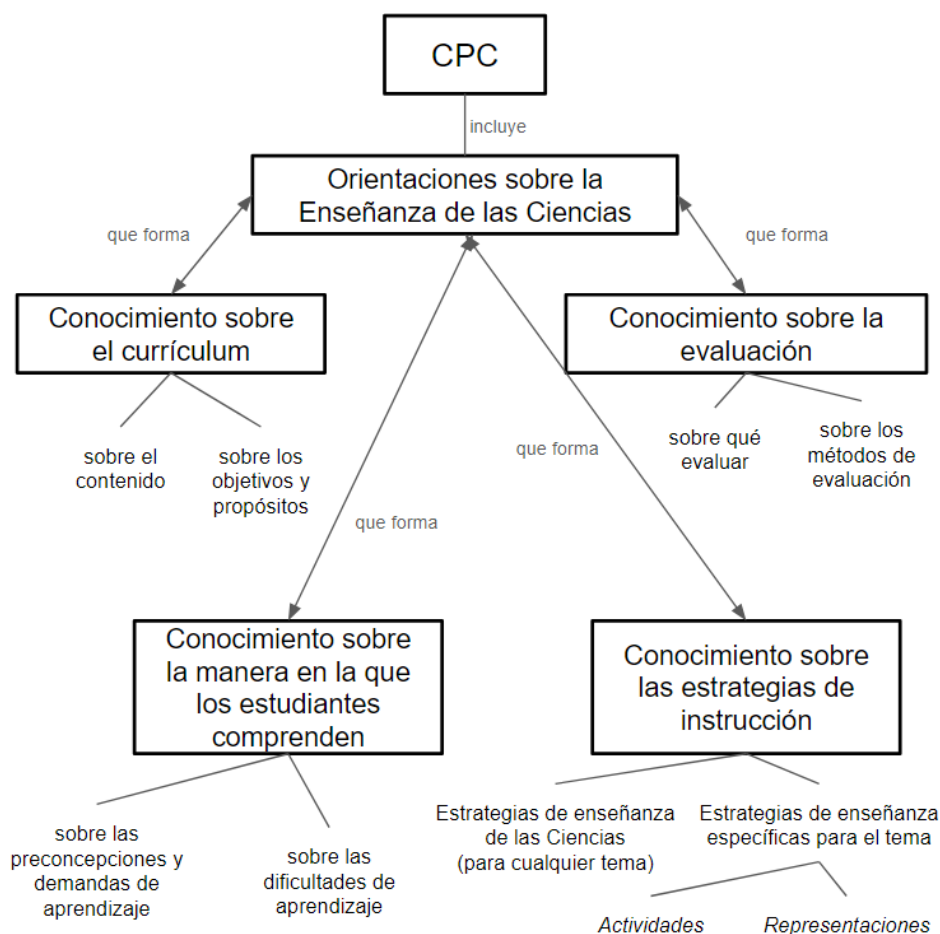


Figura 3.3: Modelo del CPC de Magnusson et al. (1999).

A lo largo de los años se han desarrollado diversos modelos sobre el CPC. A raíz de esto y para poder establecer un modelo común para las investigaciones en el marco del CPC se desarrolló en la Primera Cumbre del CPC del año 2011, un Modelo de Consenso del CPC, que se basa en muchos de los conceptos presentados hasta aquí y sus interrelaciones.

El Modelo de Consenso del CPC(MC) surgido de la Primera Cumbre y descrito por Gess-Newsome (2015) intenta demostrar que el conocimiento y la destreza profesional del profesor, que engloba el CPC, se desarrolla a través de mecanismos de retroalimentación (Fig. 3.4). Cada componente del modelo informa e influye en todos los demás componentes. Este modelo incluye el impacto en los logros de aprendizaje de los estudiantes. Los puntos de partida son las bases de conocimientos profesionales de los profesores que informan conocimientos profesionales sobre temas específicos. Cuando estos conocimientos se introducen en el aula, la

interacción puede provocar un ajuste en la base de conocimientos profesionales del profesor. Este ajuste se realiza a través de amplificadores y filtros de creencias, orientaciones, conocimientos previos y contexto del profesor.

El modelo también reconoce que los estudiantes vienen con amplificadores y filtros similares, que influyen en la forma en que se reciben los conocimientos trabajados.

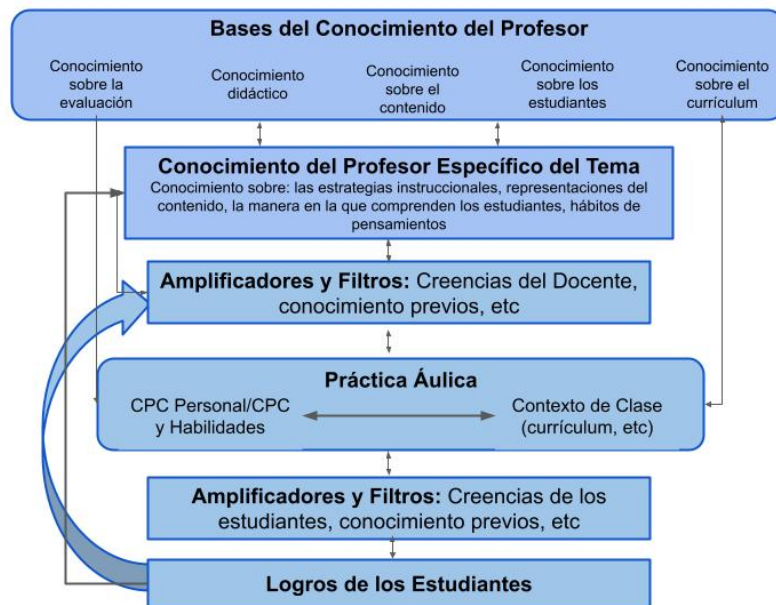


Figura 3.4: Modelo del CPC de Gess-Newsome (2015).

Aunque el MC del CPC del 2011 diferenciaba entre el conocimiento sobre la enseñanza específica de un contenido (conocido en la literatura como TPSK por sus siglas en inglés Topic Specific Professional Knowledge) y los conocimientos y habilidades de enseñanza que se desarrollaban en el aula (conocido en la literatura por PCKS por sus siglas en inglés Pedagogical Content Knowledge and Skills), la distinción en términos de CPC no era lo suficientemente clara y los investigadores tuvieron problemas con las especificaciones, como dónde colocar los conocimientos sobre estrategias de instrucción. ¿Era conocimiento pedagógico general o específico? ¿Cuándo y bajo qué condiciones?

En el año 2017, los asistentes a la Segunda Cumbre del CPC se dieron cuenta de que era necesario un nuevo modelo de consenso del CPC que fuera más útil para orientar mejor a los estudios de investigación sobre el conocimiento del profesor. Este nuevo modelo debía permitir profundizar en el conocimiento de los CPC de los profesores de ciencias y sus implicaciones para la formación de profesores, los planes de estudios y las políticas educativas. Como resultado, se creó el Modelo de Consenso Refinado del CPC (MCR del CPC).

El MCR del CPC se centra en la práctica de la enseñanza de las ciencias. El

modelo describe las complejas capas de conocimientos y experiencias que conforman e informan el conocimiento sobre la enseñanza de ese tópico de los profesores a lo largo de su trayectoria profesional y, a su vez, influyen en los resultados de aprendizaje de los estudiantes (Carlson et al., 2019). Una característica clave de este modelo es la identificación de tres ámbitos de CPC:

1. **CPC colectivo (CPCc)**: se refiere al conocimiento profesional especializado que poseen múltiples educadores en un campo. Por ejemplo, los resultados de investigación de amplio consenso en la comunidad de investigación en didáctica de las ciencias, como la importancia de considerar las ideas previas de los estudiantes, para la planificación de una propuesta de enseñanza. Estos conocimientos son los que usualmente se suelen difundir en las asignaturas de didáctica de las ciencias en la formación inicial docente.
2. **CPC personal (CPCp)**: son los conocimientos profesionales personalizados de un profesor de ciencias. Son aquellos conocimientos disciplinares, principios didácticos y pedagógicos que el docente se ha apropiado y los tiene disponibles para el diseño y ejecución de sus propuestas de enseñanza.
3. **CPC enunciado (CPCe)**: corresponde al subconjunto único de conocimientos al que recurre un profesor para su razonamiento pedagógico durante la planificación, implementación y revisión de una lección de clase (CPCe). Es el CPC que se observa a partir de lo que hace el docente en la práctica áulica o en las decisiones de diseño que toma para la confección de sus planificaciones.

Inherentes al desarrollo de estas capas de CPC están las contribuciones de profesores, estudiantes, compañeros y otros. Al mismo tiempo, los conocimientos y habilidades de un profesor que se utilizan en la práctica influyen en los resultados de los alumnos, como se muestra en la Fig. 3.5. El modelo reconoce que los conocimientos profesionales más amplios (por ejemplo, el conocimiento del contenido, el conocimiento pedagógico) y el contexto de aprendizaje (por ejemplo, las políticas jurisdiccionales y escolares y las características de los estudiantes) influyen en la enseñanza y el aprendizaje.

A lo largo de la trayectoria profesional de un profesor de ciencias, se produce un intercambio bidireccional de conocimientos entre los distintos círculos concéntricos del modelo. Los conocimientos y las habilidades que un profesor posee de cada ámbito se filtran y amplían en formas que conforman el CPC personal (CPCp) de un profesor de ciencias. Las actitudes y creencias del profesor sobre los alumnos, la naturaleza del conocimiento del contenido científico pueden amplificar y/o filtrar la forma en que un profesor desarrolla el CPCp para la enseñanza

de la ciencia. Por ejemplo, el conocimiento canónico sobre la enseñanza que los docentes reciben en los cursos de formación continua, puede ser considerado como distante de los escenarios complejos a los que se enfrentan los profesores cotidianamente. Esta brecha percibida por los docentes puede provocar que algunos de ellos no se apropien del conocimiento impartido en el curso de formación por considerarlo de poca utilidad. En ese caso, la creencia de los docentes funciona como filtro entre el CPCc y el CPCp (Fig. 3.5).

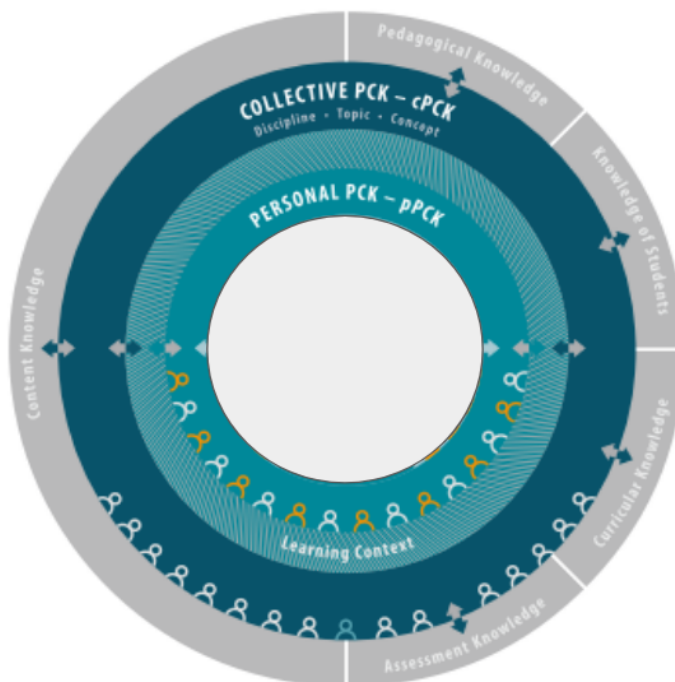


Figura 3.5: Modelo de Consenso Refinado del CPC: CPC colectivo y CPC personal, Carlson et al. (2019).

Los intercambios de conocimientos también tienen lugar cuando un profesor toma decisiones relacionadas con la enseñanza de contenidos concretos a estudiantes concretos en un contexto determinado, de nuevo moderados por los propios amplificadores y filtros del profesor que informan el conocimiento profesional específico utilizado en la práctica de la enseñanza, conocido como CPC enunciado (CPCe)(Fig. 3.6). Del mismo modo, las experiencias adquiridas en la práctica de la enseñanza de las ciencias proporcionan retroalimentación que moldea el CPCp de un profesor. Un docente individual, a través de la conversación y el intercambio, puede contribuir al CPC colectivo (CPCc) en la enseñanza de las ciencias. Este flujo de conocimientos y competencias, dentro y fuera y a través de los círculos concéntricos, es una característica importante del MRC del CPC.

Para poder transmitir y repensar cómo fortalecer el CPC, es necesario describirlo y caracterizarlo con claridad. En la sección siguiente se describen las estrategias e instrumentos utilizados por distintas investigaciones para describir

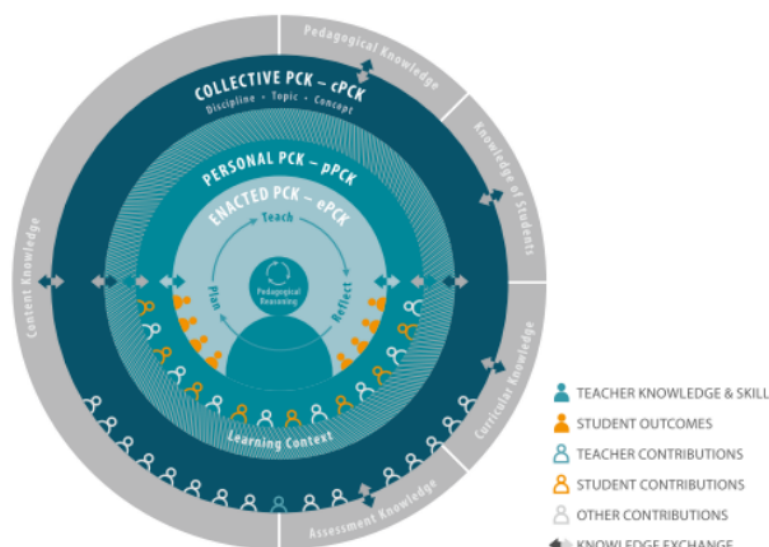


Figura 3.6: Modelo de Consenso Refinado del CPC, Carlson et al. (2019).

los componentes del CPC tanto de profesores en servicio como de estudiantes de profesorado.

3.1.4. Enfoques para la caracterización del CPC

Existen múltiples formas y/o enfoques para caracterizar el CPC de los profesores de ciencias. En base a lo expuesto por Chan and Hume (2019) se reconocen dos grandes categorías para agrupar a los trabajos de investigación sobre CPC según la fuente de datos. Por un lado se encuentran (1) las investigaciones que caracterizan al CPC mediante auto-informes o narrativas de los docentes, y por otro lado (2) las investigaciones sobre el CPC a través del desempeño de los docentes en tareas de enseñanza. En esta Tesis Doctoral adoptaremos el enfoque perteneciente a la segunda categoría. Los estudios enmarcados en este enfoque, son trabajos que investigan sobre los conocimientos adquiridos a través de la realización de tareas de enseñanza, incluyen el uso o la recopilación de artefactos didácticos relacionados con alguna etapa del ciclo de enseñanza o en todo el ciclo, es decir, algunos se centran en la fase preactiva (planificación), otros en la fase interactiva (puesta en práctica) y otros en la fase postactiva (reflección), y otros en todo el ciclo didáctico (Fig. 3.7).

En la presente investigación se pretende caracterizar el CPC de los futuros docentes luego de haber cursado la asignatura Fenómenos Electromagnéticos (FE) didácticamente reconstruida en base a resultados de investigación en didáctica de las ciencias. Se decide caracterizar al CPC de los estudiantes de profesorado no a partir de lo que ellos dicen, sino a través de lo que ellos hacen (CPC enunciado).

Conocer el CPCe de los futuros docentes ofrece una ventana para conocer lo CPC personal (CPCp) de cada uno. El interés de la formación inicial docente es lograr enriquecer y fortalecer el CPCp de los futuros docentes, dotándolos de herramientas que les permitan tomar decisiones sobre qué CPCe poner en juego en cada contexto. Dado que el CPCe informa sobre el CPCp, se decide analizar el desempeño en la tarea docente de los futuros profesores. Para ello, se analizará las producciones de los estudiantes de profesorado que consistirá en el diseño de clases sobre el tópico estudiado en la asignatura de FE.

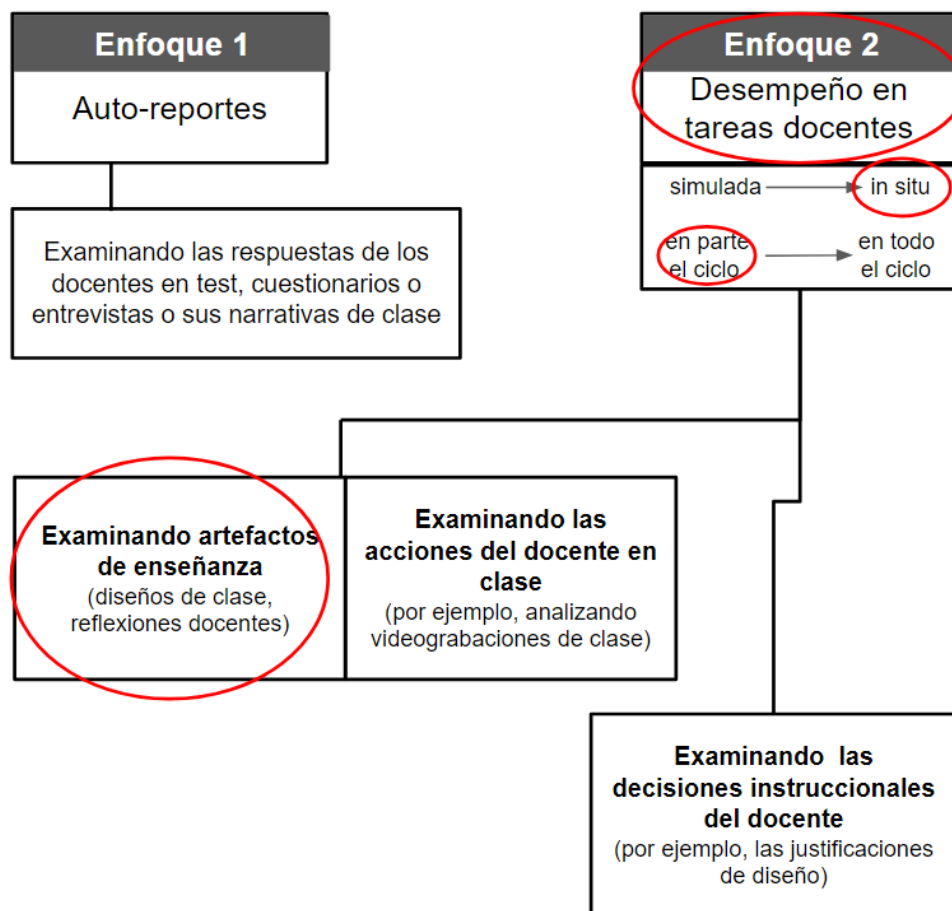


Figura 3.7: Enfoques utilizados para la Caracterización del CPC, Chan and Hume (2019).

Dado que toda propuesta de innovación que implique una intervención áulica, debe enmarcarse dentro de una concepción de aprendizaje y, sumado a que la validación sobre el Conocimiento del Contenido es un punto relevante en la caracterización del CPC, se expone en el próximo apartado el lente teórico con el cual se interpretará el aprendizaje de los futuros docentes en relación al contenido desarrollado en la implementación didáctica.

3.2. Apropiación

Entendemos que el proceso de aprendizaje es complejo y personal. Aprender implica no sólo la posibilidad de reproducir o utilizar un conocimiento, sino también implica cómo ese contenido construye identidad en la persona, y ese proceso de construcción está intrínsecamente relacionado con la manera en la cual el aprendiz se involucra en su propio proceso de aprendizaje. En el ámbito de la educación científica, el término apropiación se ha utilizado en este sentido (De Ambrosis and Levrini, 2010).

Bakhtin (1981) introdujo el término apropiación en el ámbito de la lingüística para describir el proceso mediante el cual una persona atribuye sus propios significados a una palabra dada. Según Bakhtin (1981), la apropiación ocurre cuando alguien adapta una palabra existente en el lenguaje de otros para su propio uso, dotándola de intenciones personales, huellas idiosincráticas y propósitos individuales.

Durante el proceso de apropiación, cada estudiante enriquecerá estos términos con sus propias características al adaptarlos desde el lenguaje del grupo de clase. Esta idea es adaptada y enriquecida por Levrini et al., 2015 al posicionar a la apropiación como el nexo entre el aprendizaje disciplinario productivo (Engle and Conant, 2002) y la construcción de la identidad (Cobb et al., 2009), poniendo el foco en el cuestionamiento sobre cómo el aprendizaje disciplinario productivo puede ser el lugar en el cual los estudiantes pueden construir una narrativa de sí mismos, es decir, construir identidad. La riqueza del trabajo de estas autoras reside en la generación de una definición operacional (indicadores) que transforma la definición anterior en una que permite reconocer cuándo ocurre (o no) el proceso de apropiación en el aula. Según ellas, la apropiación puede ser reconocida cuando el discurso de los estudiantes cumple con los siguientes marcadores:

- A. Se desarrolla a partir de un conjunto de palabras o expresiones que se repiten en varias oportunidades y que expresan una idea idiosincrática, auténtica y personal con respecto al contenido de física que están trabajando. La idea es reconocible como auténtica e idiosincrática porque es diferente de las de otros estudiantes y la elección lingüística, tanto como el tono que utiliza, no es “prestado” de la autoridad (del profesor, del texto, de otro compañero autorizado).
- B. Es disciplinariamente fundamentado, es decir la idea idiosincrática es usada por el estudiante como una herramienta para seleccionar piezas del conocimiento normativo y para coordinarlas respetando las reglas y principios de la física.

- C. Es no incidental, es decir que la idea idiosincrática pueda ser rastreada hacia atrás en distintas situaciones y actividades de clase y, por lo tanto, es reconocible dentro de la historia personal del estudiante.
- D. Es profundo, es decir, la idea idiosincrática debe involucrar la dimensión metacognitiva (qué significa para mí el aprendizaje de la física) y epistemológica (cuál imagen de la física tiene sentido para mí).
- E. Es portador de relaciones sociales, es decir, que la idea idiosincrática posicione al estudiante dentro de una comunidad de clase y viceversa, que la dinámica de la clase sea inseparable de la idea idiosincrática.

3.3. Objetivos y preguntas de investigación

He observado, en mi propia práctica docente, la dificultad que experimentan los estudiantes de profesorado para comprender el material abstracto de los circuitos eléctricos. La bibliografía confirma esta observación anecdótica (Coetzee et al., 2020; Zimmerman, 2015; Aranzabal et al., 2008; Mulhall et al., 2001; Tarciso Borges and Gilbert, 1999). El tema circuitos eléctricos forma parte de la currícula para el nivel secundario y es un conocimiento necesario, dado que la electricidad es parte esencial de la vida moderna en actividades de uso cotidiano como iluminación, calefacción, refrigeración, computadoras, transporte público, es decir, con diversas aplicaciones.

Aunque la enseñanza y el aprendizaje de los circuitos eléctricos ya ha sido ampliamente estudiada (Reagan et al., 2020; Espera and Pitterson, 2019; Aranzabal et al., 2008) son pocas las investigaciones en las cuales se ha estudiado el aprendizaje del tópico circuitos eléctricos, en el que la propuesta de enseñanza busque generar involucramiento productivo disciplinar como el propuesto por Engle and Conant (2002) y escasas, también, en relación a la formación docente. En este contexto es posible recuperar la pregunta de investigación preliminar formulada en el capítulo anterior sobre ¿Cómo se fortalece el Conocimiento del Profesor de los futuros docentes de física desde los espacios curriculares disciplinares, cuando estos se diseñan en base a los resultados de investigación en didáctica de las ciencias?, y refinarla para el contexto particular para esta investigación. Una de las preguntas que guía este trabajo es:

¿Cómo se fortalece el CPCp (o parte de él) de los futuros docentes de física desde el espacio curricular de Fenómenos Electromagnéticos, cuando este se diseña en base a los resultados de investigación en didáctica de las ciencias?

Dado que una dimensión importante en toda innovación educativa es estudiar cómo es el aprendizaje de un contenido a partir de la implementación de la reconstrucción didáctica, y considerando que el conocimiento del contenido es un elemento crucial en el desarrollo del CPC surge el otro interrogante que guía esta investigación:

¿Cómo se caracteriza la apropiación del discurso científico (en el campo de los circuitos eléctricos) de los futuros docentes durante la implementación de una propuesta didáctica reconstruida en base a los resultados de investigación en didáctica de las ciencias?

Por su carácter intervencionista esta Tesis Doctoral tiene objetivos tanto en términos teóricos como en términos prácticos. En este sentido, la presente investigación persigue los siguientes objetivos:

1. Realizar una reconstrucción didáctica de la asignatura Fenómenos Electromagnéticos, en particular sobre el tópico circuitos eléctricos, perteneciente al tercer año del profesorado de física del Instituto de Enseñanza Superior Simón Bolívar sobre la base de resultados de investigación, a fin de que los futuros docentes tengan oportunidad de vivenciar una enseñanza orientada a aprender de física y sobre la física simultáneamente.
2. Validar los marcadores desarrollados por Levrini (2015) para el contexto de la formación docente, e indagar sobre los formas de apropiación del discurso científico del grupo clase (de los futuros docentes) durante la implementación de la propuesta didácticamente reconstruida
3. Evaluar la incidencia de la intervención en el fortalecimiento del CPCp de esos futuros docentes.

La propuesta de intervención y el logro de aprendizaje sobre el contenido disciplinar de los estudiantes corresponden al objetivo práctico de esta investigación. Por otro lado, la validación de los marcadores de apropiación elaborados por [Levrini et al. \(2015\)](#) (objetivo 2) para el contexto particular del Profesorado en Física es un objetivo teórico, ya que pretende extender los alcances iniciales de la definición operacional de apropiación. También son propósitos teóricos la indagación sobre cómo se caracteriza esa apropiación en la formación docente y, comprender cómo se construye el CPCp en el contexto particular del profesorado de Córdoba (objetivo 2 y 3).

CAPÍTULO 4

Metodología

A continuación, se presenta el encuadre metodológico de la investigación desarrollada. En primera instancia se describe la metodología de la Investigación Basada en el Diseño y cómo se concreta en el caso particular de esta investigación. Luego se exponen las características del contexto en el cual se desarrolla la investigación. Finalmente, se presenta la manera e instrumentos con la cual se recolectaron los datos.

4.1. Investigación Basada en el Diseño

4.1.1. Consideraciones Generales

La investigación basada en el diseño (en adelante, IBD) es un tipo de investigación que se produce en el contexto del aula, a través de ciclos iterativos de diseño, implementación y evaluación de una secuencia de enseñanza y aprendizaje sobre algún contenido particular (Cobb et al., 2003; Collins, 1992). El propósito de esta metodología de investigación es doble:

- Generar innovaciones educativas sustentadas en la teoría que promuevan una mejora en los aprendizajes de los estudiantes
- Generar teoría a partir del análisis de los resultados de las implementaciones de la secuencia, validar y refinar los supuestos teóricos propuestos en primer lugar, iluminando mejor las complejas problemáticas sobre la enseñanza y el aprendizaje de la vida en las aulas.

La principal fortaleza de este tipo de investigación es su potencialidad para disminuir la brecha entre las prácticas en las aulas y los resultados de investigación, porque la innovación y la investigación se retroalimentan en cada ciclo de implementación (Velasco et al., 2021).

La IBD se centra en comprender el desorden de la práctica de la enseñanza y el aprendizaje en contextos reales, siendo el contexto una parte central del problema y no una variable atributiva que se trivializa. Esta metodología de investigación implica una revisión flexible del diseño, de las múltiples variables dependientes que lo componen y de la interacción social que promueve. En este tipo de indagación, los participantes no son sujetos asignados a tratamientos de enseñanza, sino que son considerados partícipes tanto en el diseño como del análisis de los resultados (Barab and Squire, 2004). Uno de los retos de la investigación educativa sobre las intervenciones basadas en el diseño es caracterizar la complejidad, la fragilidad, el desorden y la eventual solidez del diseño, y hacerlo de una manera que sea valiosa para otros (Lagemann and Shulman, 1999). Este último criterio implica que la IBD requiere algo más que la comprensión de un contexto particular: también requiere mostrar la relevancia de las conclusiones derivadas del contexto de intervención, a otros contextos. Esto último lo hace a través de los aportes teóricos que derivan de ella. La producción teórica de la IBD es pragmática porque el valor de la teoría reside en su capacidad para producir cambios en el mundo. En este sentido, la IBD no proviene de tradiciones positivistas o de tradiciones etnográficas, sino de las líneas pragmáticas, en las cuales las teorías no se juzgan por sus pretensiones de verdad, sino por su capacidad de actuar en el mundo (Dewey, 1938).

La IBD, que se realiza sobre la base de sucesivas iteraciones de una Secuencia de Enseñanza-Aprendizaje (SEA), se esfuerza por generar y promover un conjunto concreto de construcciones teóricas que trascienden las particularidades del entorno donde se generaron, seleccionaron o perfeccionaron. Este enfoque de construcción teórica basada en contextos naturales distingue la IBD de la producción de SEA innovadoras. A primera vista, se parecen mucho: ambas son naturalistas, están orientadas al proceso, son iterativas e implican la creación de un diseño tangible que funciona en entornos sociales complejos.

Sin embargo, lo que distingue a la IBD del diseño, implementación y evaluación de SEA es: (a) un impulso constante hacia la conexión de las intervenciones de diseño con la teoría existente; (b) el hecho de que la IBD puede hacer aportes teóricos (no simplemente probar las teorías existentes); y (c) que, para algunas cuestiones de investigación, el contexto en el que se lleva a cabo la IBD es la ontología mínima para la que se pueden investigar adecuadamente ciertas variables (lo que implica que no podemos volver al laboratorio para poner a prueba las

afirmaciones teóricas) (Barab and Squire, 2004; DiSessa and Cobb, 2004).

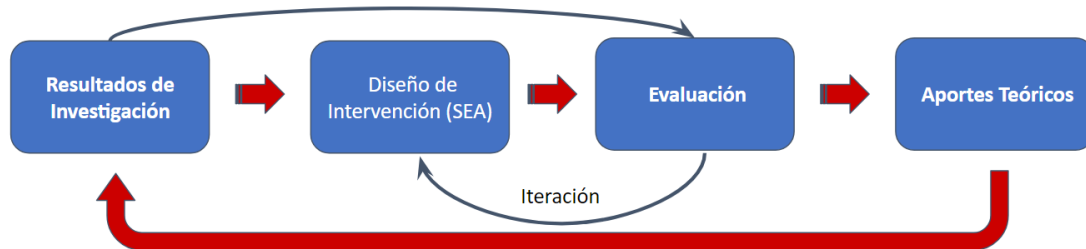


Figura 4.1: Etapas de la Investigación Basada en el Diseño

Como se muestra en la Fig. 4.1, en este trabajo se plantean distintas etapas de acción, una previa a la primera implementación que consiste en: a) Recabar resultados de investigación que sustentan el diseño (sobre cuáles son las ideas previas de los estudiantes y las estrategias de enseñanza para abordar el contenido); y b1) Diseñar e implementar la propuesta. b2) En una fase posterior a la primera implementación las actividades son: evaluar la propuesta, rediseñar e iterar la implementación con su respectiva evaluación. Las consideraciones emergentes de la evaluación de la propuesta son expuestas en la sección Resultados.

Un dato relevante es que el tesista quien era el docente del curso hasta ese momento, es quien lleva adelante las implementaciones del diseño realizado. La objetivación de los resultados se logra a partir de la triangulación entre los registros. Estos registros consisten en las grabaciones fílmicas de las clases llevadas a cabo por otro miembro del grupo de investigación al cual pertenece el tesista, las producciones de los estudiantes, los registros del diario del docente, y la entrevista realizada por la directora de esta Tesis Doctoral. Esta desición se basa en la experticia de la directora para realizar esta tarea y por ser una persona desconocida por los estudiantes del profesorado. Esto último ofrece la oportunidad de que los futuros docentes se expresen con confianza sin estar sujetos a la valoración del docente de la asignatura. Además, los emergentes de los registros son el resultado del consenso con los miembros del equipo de investigación al cual pertenece el tesista.

4.1.2. Resultados de Investigación que sustentan el Diseño

Como se ha comentado en secciones anteriores, se rediseñó el espacio curricular de Fenómenos Electromagnéticos del tercer año de la carrera del profesorado en Física. El rediseño no incluyó cambios en el contenido disciplinar sino de la

propuesta de su enseñanza. Este rediseño se realizó en base a los resultados en investigación en didáctica ampliamente consensuados en la comunidad de investigación en enseñanza de las ciencias.

Dado que la concepción de aprendizaje adoptada para este trabajo es la “apropiación”, entendida como el puente entre la construcción de identidad y el involucramiento disciplinar productivo (Engle and Conant, 2002), la propuesta buscó la construcción de un ambiente de aprendizaje en donde se promueve un aprendizaje disciplinar y productivo como el descrito por los autores. El **rediseño consideró los siguientes resultados de investigaciones:**

1. Trabajar con las ideas previas de los estudiantes en relación al electromagnetismo. Los resultados de la investigación en educación en física en relación a la enseñanza y al aprendizaje del electromagnetismo (Tarciso Borges and Gilbert, 1999; Peşman and Eryilmaz, 2010; Hart, 2008; Mackay and Hobden, 2012; Cao and Brizuela, 2016; Kuo and Wieman, 2016; Dori and Belcher, 2005; Galili, 1995; Cohen et al., 1983).
2. Problematizar los contenidos de las clases (Levrini et al., 2015, Engle and Conant, 2002).
3. Generar una cultura de la clase en la que la autoridad disciplinaria esté distribuida entre los estudiantes (Sullivan and Wilson, 2015; Engle and Conant, 2002).
4. Mantener a los estudiantes atentos unos a otros, compartiendo y respetando las normas de la física y de la clase (Engle and 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 la imagen autoritativa y exclusiva de la disciplina según la cual un único punto de vista es considerado legítimo y posible (Nasir et al., 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 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 et al., 2000; Engle and Conant, 2002).

A continuación se muestra la estructura general utilizada en cada clase y luego, a modo de ejemplo, una clase introductoria al tópico circuitos eléctricos. Esta clase sirve para mostrar cómo se materializan cada uno de los puntos descritos anteriormente para un tema en particular.

Diseño - Estructura general de una clase de la secuencia didáctica

Se reconstruyen 11 clases de la asignatura Fenómenos Electromagnéticos sobre el contenido de circuitos eléctricos (ver Anexo I y II) siguiendo la siguiente estructura general.

Cada una de las clases comienza con una actividad problematizadora del contenido (**resultado que sustenta el diseño 2**). En muchas oportunidades esta actividad sirve para poder recabar las preconcepciones de los estudiantes en 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 que sustenta el diseño 1**). Es importante resaltar que las tensiones de los modelos pueden generar discusiones tanto en pequeños grupos como con el grupo clase generando 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 que sustentan el diseño 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 que sustenta el diseño 6**).

Los recursos relevantes que se proponen a los estudiantes para trabajar las situaciones problemáticas son en su gran mayoría trabajos de tipo experimental, ya sea laboratorios reales, virtuales o experimentos pensados (**resultado que sustenta el diseño 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 de ellas para resaltar puntos de conexión entre ellas, si hubieran más de un modelo alternativo, o para caracterizar el modelo que se desarrolla de forma colectiva. También en este 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 que sustenta el diseño 1**). En ocasiones, para analizar el progreso de las ideas de los estudiantes, se proponen la utilización de lecturas sobre la Historia de la Ciencia, ya sean controversias científicas o el relato de las experiencias desarrolladas por la comunidad científica a lo largo del siglo XIX. Esto también permite trabajar la estructura epistémica de la física y construir una imagen de ciencia no distorsionada en los estudiantes (**resultados que sustentan el diseño 6 y 7**). En resumen, la propuesta se diseña para que los estudiantes no sólo aprendan de física sino también sobre la física (Fig. 4.2).

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

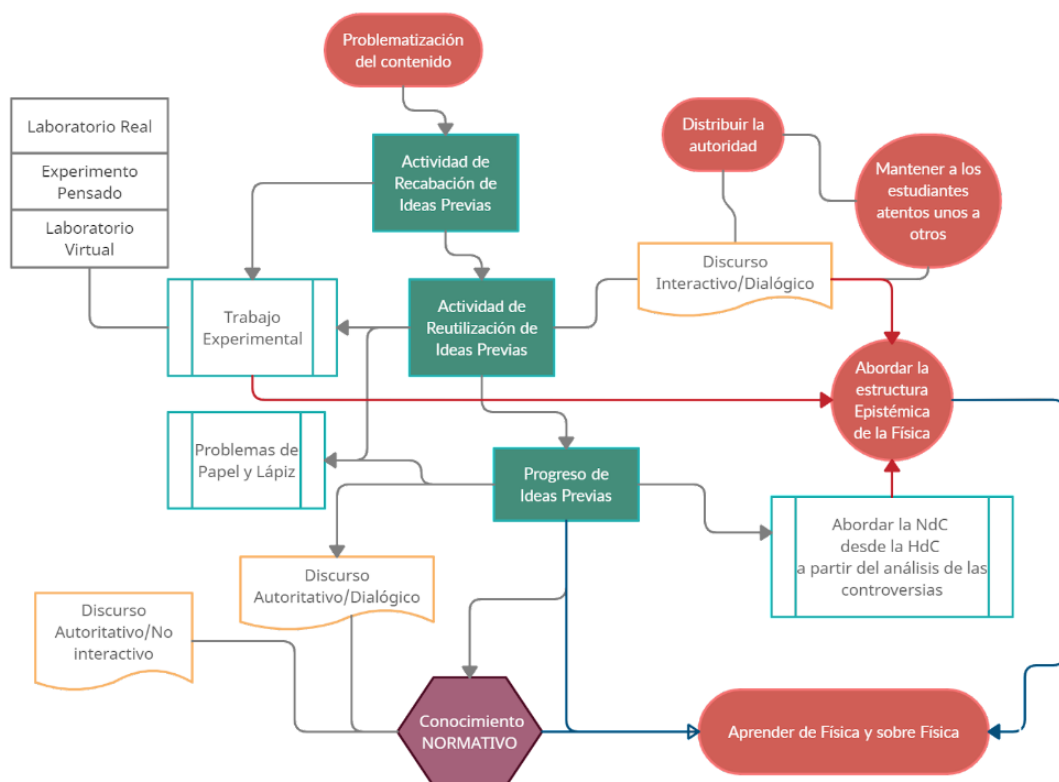


Figura 4.2: Estructura general de las clases de la asignatura Fenómenos Electromagnéticos

Diseño - Un ejemplo: Primera parte de la primera clase Introducción a los circuitos eléctricos

En la presente actividad corresponde a una clase introductoria al contenido referido a circuitos eléctricos. La problematización del contenido es un juego: “el pulsómetro” (**resultado que sustenta el diseño 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 Herrera and Hernández Barbosa, 2014). Para ello se utilizará un pulsómetro (Fig. 4.3 como recurso relevante (**resultado que sustenta el diseño 5**) que además servirá para recabar las ideas previas de los estudiantes en torno a los elementos intervinientes en un circuito eléctrico (**resultado que sustenta el diseño 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.

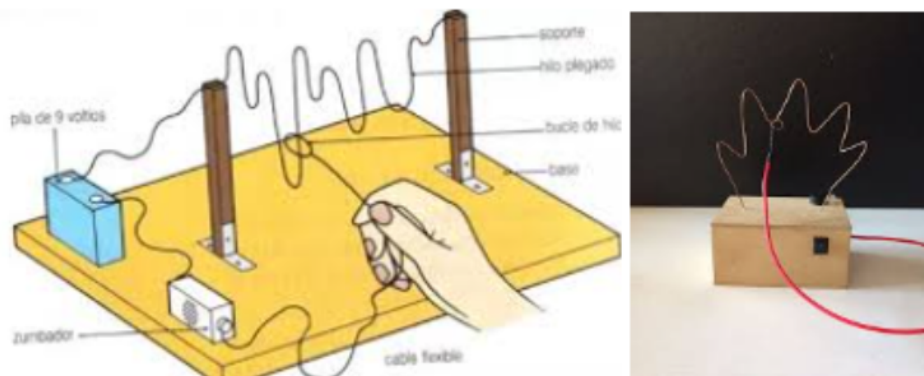


Figura 4.3: A la izquierda se muestra la estructura interna del pulsómetro y a la derecha se muestra el pulsómetro tal como lo ven los estudiantes

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

Al trabajar las preguntas (Fig. 4.4) en grupos reducidos permite una discusión entre pares, en donde la autoridad está distribuida entre los estudiantes

Actividad 2

- a- ¿Por qué se enciende la luz al tocar la argolla con el alambre?
- b- ¿Existe una fuente de energía? ¿Dónde se encuentra?
- c- Realice un esquema de las conexiones y/o lo que ocurre cuando se enciende la lámpara.

Figura 4.4: Consigna entregadas a los estudiantes

(**resultado que sustenta el diseño 3**). Luego, en una segunda etapa, se exponen los esquemas realizados por cada grupo, y se fomenta el debate. En este 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 física y de la clase (**resultado que sustenta el diseño 4**). En este momento el enfoque comunicativo es del tipo dialógico/interactivo, ya que el docente y los estudiantes exploran ideas, plantean y ofrecen preguntas genuinas, escuchando y trabajando en diferentes puntos de vista (Aguilar 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 hace 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 que sustenta el diseño 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 que sustentan el diseño 6 y 7**). Por ejemplo, en clases subsiguientes a la presentada se les proporciona a los estudiantes un documento sobre la controversia Volta-Galvani (Ver Anexo III) (**resultado que sustenta el diseño 2**) y junto con él un cuestionario que resolverán de manera individual (Fig. 4.5 (**resultado que sustenta el diseño 5**)).

Luego de la resolución individual, se procede a compartir con la clase las respuestas de cada estudiante. Las últimas preguntas de la guía de lectura pueden generar un debate entre los estudiantes, en donde el docente nuevamente orquesta el debate y distribuirá la autoridad entre los estudiantes, manteniéndolos atentos

Actividad
Luego de leer el material provisto responda las siguientes preguntas:

- 1- ¿Qué concepciones tenía la comunidad científica sobre la electricidad al momento que Galvani realiza sus experiencias?
- 2- ¿Cuáles fueron los indicadores que llevaron a Galvani a concluir en sus postulados?
- 3- ¿Qué aspectos de lo realizado por Galvani no fueron convincentes para Volta y lo llevaron a realizar nuevas pruebas?
- 4- ¿Cuáles fueron los argumentos que Volta presentó contra la idea de Galvani?
- 5- ¿Por qué crees que la comunidad científica se dividió entre ambos postulados sin inclinarse hacia uno de ellos?
- 6- Si te hubiese tocado vivir en esos años con qué postura hubieses estado más de acuerdo ¿Por qué?

Figura 4.5: Consigna entregadas a los estudiantes para trabajar la controversia Volta-Galvani

uno a otros respetando las normas de la física (**resultado que sustentan el diseño 3 y 4**).

4.2. Fuente de Datos

4.2.1. Apropiación

Los datos para interpretar la apropiación de los estudiantes en relación al contenido de circuitos eléctricos consisten en registros audiovisuales de las clases, las producciones escritas de los estudiantes y en una entrevista semi estructurada al finalizar el desarrollo del contenido. Las entrevistas se organizaron en relación a 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?
- ¿Podrías diferenciar los conceptos de la pregunta anterior y reconocer en qué contextos te es útil diferenciarlos?
- ¿Puedes reconstruir cuándo pudiste diferenciar los conceptos de diferencia de potencial, intensidad de corriente eléctrica y potencia eléctrica?
- Pensando en los dos enfoques trabajados para el concepto de intensidad de corriente (el macro y el micro), ¿hay alguno que hayas preferido? ¿Por qué?

Los indicadores elaborados por [Levrini et al. \(2015\)](#) fueron aplicados a los discursos de los futuros profesores a fin de evaluar su potencia operacional en este

nuevo contexto. Los discursos de los futuros docentes (extraídos de las respuestas a la entrevista y de las grabaciones de las clases) fueron revisados en sucesivas oportunidades de manera independiente por cada uno de los autores de este trabajo, hasta advertir la emergencia de los cinco indicadores antes descritos. Luego de las lecturas y análisis individuales, nos reuníamos para discutir sus interpretaciones en relación a cada uno de ellos. Este procedimiento se repetía hasta llegar a un consenso entre ellos (Creswell and Poth, 2016; Merriam and Tisdell, 2015; Hammer and Berland, 2014).

En primer lugar, se analizaron cada una de las entrevistas para detectar las posibles expresiones o ideas idiosincráticas de los estudiantes para referirse al contenido trabajado (Marcador A). Luego se observaron detenidamente cada una de las clases grabadas a los fines de rastrear la idea idiosincrática hacia atrás, es decir, durante la cursada de la materia FE (Marcador C). Luego se analizaron las entrevistas nuevamente y se registraron que las expresiones idiosincráticas sobre el contenido respeten las normas de la disciplina (Marcador B). En los videos de las clases también se intentó determinar el rol que cada estudiante desarrollaba en cada una de las discusiones y su relación con la idea idiosincrática (Marcador E). Por último, se revisaron las entrevistas nuevamente con el fin de reconocer aspectos metacognitivos o posicionamientos epistemológicos en relación al contenido de cada uno de los estudiantes (Marcador D).

Tal como reportan Levrini et al. (2015) y Buteler et al. (2021), la apropiación es un proceso complejo y es posible que ocurra en distintos grados o niveles. Es por ello que se elaboraron criterios para la caracterización de cada marcador en tres niveles (Tabla 4.1).

	No detectado	Limitado	Logrado
Marcador A	No se reconoce la idea idiosincrática en relación al contenido	Se reconoce la idea idiosincrática en pocas (2 o 3) ocasiones a lo largo de la entrevista	Se reconoce la idea idiosincrática en múltiples ocasiones a lo largo de la entrevista

Marcador B	Las definiciones o explicaciones no son compatibles con las normas de la Física	Las definiciones o explicaciones no son claras o precisas, pero son compatibles con las normas de la Física	Las definiciones o explicaciones son claras, precisas y son compatibles con las normas de la Física
Marcador C	No se encuentran ocasiones en los registros de las clases, en los cuales es posible reconocer la idea idiosincrática	Es posible reconocer en no más de dos o tres oportunidades la idea idiosincrática en los registros de las clases	Se reconoce la idea idiosincrática en múltiples ocasiones en los registros de las clases.
Marcador D	No se registran análisis metacognitivos sobre el proceso de aprendizaje	Es capaz de reconocer el valor de múltiples enfoques (macro y micro) sobre los conceptos trabajados pero no reconoce momentos en el que pudo comprender o superar dificultades de aprendizaje	Es capaz de reconocer el valor de múltiples enfoques (macro y micro) sobre los conceptos trabajados. Y es capaz de advertir en qué momentos pudo comprender o superar dificultades de aprendizaje
Marcador E	No se reconoce una característica de rol social desempeñado en clase por el estudiante	Se reconoce en pocas ocasiones que el estudiante asume un determinado rol social en la clase	Se reconoce en múltiples ocasiones que el estudiante asume un determinado rol social en la clase

Tabla 4.1: Indicadores para categorizar los marcadores de apropiación

4.2.2. Caracterización del CPC

Tipos de instrumentos utilizados en la caracterización del CPC

Dependiendo del enfoque adoptado para caracterizar el CPC es posible utilizar distintos instrumentos para la descripción y valoración del CPC del docente. La literatura muestra que los instrumentos más utilizados para la caracterización del CPC son la Representaciones del Contenido (ReCo) y los Repertorios de Experiencia Pedagógica y Profesional (RePaP) (Loughran et al., 2001)

Los Repertorios de Experiencia Pedagógica y Profesional (RePaPs) son documentos que se crean a través de entrevistas, discusiones sobre prácticas de la enseñanza en el aula, donde los profesores comparten sus enfoques y experiencias. El RePaP se desarrolla a medida que los profesores describen detalladamente sus prácticas o cuando surgen preguntas, problemas y dificultades durante las entrevistas y discusiones (Loughran et al., 2001). Los RePaPs no sólo son documentos descriptivos; son ventanas a las complejidades de la enseñanza y el aprendizaje. Capturan la esencia de la pedagogía en acción y proporcionan valiosas perspectivas para educadores e investigadores, permitiéndoles profundizar en las prácticas de enseñanza y mejorar continuamente la calidad de la educación.

Las Representaciones de Contenidos (ReCo), son plantillas estructuradas diseñadas para capturar una visión completa y detallada del conocimiento que los profesores tienen sobre un tema particular. Al completar una plantilla de ReCos, los profesores, tanto individualmente como en grupos colaborativos, se embarcan en un proceso reflexivo. Tienen que tomar decisiones fundamentales sobre las ideas clave que quieren que sus estudiantes comprendan. Esto no solo implica definir los conceptos científicos esenciales, sino también considerar el conocimiento previo que los estudiantes podrían tener, las dificultades que podrían enfrentar y las posibles ideas alternativas que podrían surgir. Los ReCo son un registro claro y sistemático del conocimiento del profesor en acción.

Las Rúbricas del CPC son esquemas de puntuación descriptivos de los ReCo que comprenden categorías de valoración con especificaciones preestablecidas (Mertler, 2000). Estas permiten valorar y comparar de manera clara los distintos elementos del CPC. Este instrumento es el elegido en esta investigación para la caracterización del CPC de los estudiantes de profesorado, ya que permite valorar el CPC enunciado (CPCe) y por ende el CPC personal (CPCp), a partir del análisis de un diseño de clase elaborado por cada uno de los futuros docentes.

Las rúbricas se utilizan cada vez más para diferenciar la calidad del conocimiento pedagógico del contenido (CPC) de los profesores de ciencias, tanto cualitativamente como cuantitativamente. Con el fin de validar la eficacia de los esfuerzos por mejorar los conocimientos de los docentes en los programas de pre-

paración del profesorado y las actividades de desarrollo profesional, se necesitan medidas de los conocimientos y habilidades de los profesores. Dado que las fuentes de datos relacionadas con el CPC suelen ser de naturaleza cualitativa (como entrevistas, cumplimentación de encuestas y preguntas escritas y observaciones en el aula), se ha popularizado el uso de rúbricas.

En la segunda Cumbre del CPC celebrada en los Países Bajos en 2017, la mayoría de los participantes se mostraron entusiasmados con la idea de una "gran rúbrica" para caracterizar el CPC de los profesores de ciencias. La fuerza motriz de la discusión fue la premisa de que una gran rúbrica facilita una comunicación clara y sin ambigüedades entre los investigadores. Esta debería ser suficientemente genérica, para adaptarse a diversos temas científicos y permitiría comparar las caracterizaciones del CPC de un tema a otro, triangular las fuentes de datos y proporcionar pruebas del crecimiento de los conocimientos CPC antes y después de una intervención.

Luego de una revisión de la literatura desarrollada por los participantes de la segunda Cumbre del CPC, se acordó que una rúbrica que pretenda valorar el CPC debe contemplar el análisis de:

1. Cómo se seleccionan e interconectan las grandes ideas/conceptos a enseñar.
2. Cómo los estudiantes comprenden ese contenido. En este apartado se analiza la incorporación de actividades que despiertan el interés de los estudiantes y ayuda a que se visibilicen sus concepciones alternativas o conocimientos previos.
3. Qué tipo de estrategias didácticas se utilizan para que las ideas de los estudiantes progresen en dirección del conocimiento científico.
4. Cómo el docente justifica sus decisiones sobre los puntos anteriores.

Durante las discusiones desarrolladas en el marco de la segunda Cumbre, se discutió sobre si el Conocimiento del Contenido (CC) debe ser incorporado en la rúbrica del CPC. Los intercambios derivaron en la conclusión que si bien el CC es un componente clave en el CPC, la manera de cómo incorporarlo es un tema complejo no resuelto.

Instrumento para la caracterización del CPC en esta investigación

Los estudiantes del tercer año del profesorado cursan la asignatura de FE y paralelamente cursan la asignatura Práctica Docente III. En esta última, la docente a cargo del espacio curricular, que colabora con nuestra investigación, les asigna al final de la cursada, un trabajo relacionado con el diseño de una

clase sobre circuitos eléctricos. En ese contexto, los estudiantes involucrados en esta investigación presentan diseños de dos clases cada uno sobre algún contenido enmarcado en el tópico circuitos eléctricos.

Dado que la construcción del CPC es un proceso continuo a lo largo de todo el desarrollo docente y en particular durante la formación inicial, se decide tomar registros complementarios que permitan comparar cualitativamente los CPC de los estudiantes que cursaron FE en el marco de esta investigación (cohortes 2022 y 2023) con los cursantes de la misma asignatura pero antes de la reconstrucción didáctica (cohorte 2021). Para ello, a los cursantes de FE de la cohorte 2021, en el contexto de la asignatura del cuarto año llamada Didáctica de las Ciencias Naturales III, se les solicita que elaboren dos clases sobre algún contenido enmarcado en el tópico circuitos eléctricos. Es importante resaltar que todos los estudiantes de la cohorte 2021 se caracterizan por ser estudiantes responsables y comprometidos con la carrera que cursan. Todos ellos han aprobado con notas superior a 7 el espacio curricular de FE.

La rúbrica utilizada para analizar el CPCe de cada estudiante en relación al diseño de sus clases se basa en la rúbrica diseñada por [Carpendale and Hume \(2019\)](#), que fue adaptada para el contexto de esta Tesis Doctoral.

En el trabajo realizado por [Carpendale and Hume \(2019\)](#), para analizar el CPCe de los profesores a partir de las clases, se elaboró un protocolo de análisis que incluía una rúbrica en la que se identifican tres componentes del CPCe y 10 indicadores de calidad que fueron caracterizados como limitado, básico, competente o avanzado. El diseño de esta se basó en la investigación previa sobre CPC ([Alonzo et al., 2012](#); [Gardner and Gess-Newsome, 2011](#); [Lee et al., 2007](#); [Park et al., 2011](#)); las indicaciones pedagógicas de los ReCo ([Loughran et al., 2006](#)); y los resultados de los debates de la segunda Cumbre CPC sobre la generación de una "gran rúbrica" para caracterizar el CPC. Los componentes y sus indicadores de calidad fueron:

Conocimiento de la materia

- Idoneidad sobre el currículum en relación con ese contenido
- Precisión científica de la explicación de los conceptos
- Enlaces y/o conexiones con otros conceptos
- Vínculos (implícitos o explícitos) con la naturaleza de la ciencia o la investigación científica

Conocimiento de la comprensión del alumno

- Se reconocen posibles conocimientos previos, conceptos difíciles o concepciones alternativas.

- Se contemplan los procesos de comprensión de los estudiantes
- Se utilizan preguntas para sondear o ampliar la comprensión del alumno (preguntas).

Conocimiento de las estrategias de enseñanza

- Se secuencian actividades adecuadamente para la enseñanza de conceptos
- Se utilizan ejemplos y/o representaciones relevantes, que son pedagógicamente eficaces para representar el concepto.
- Se implementan estrategias que permitan la metacognición (estrategias metacognitivas).

Tomando como referencia la rúbrica diseñada por [Carpendale and Hume \(2019\)](#), se confeccionó un instrumento para caracterizar el CPCe de los estudiantes del profesorado. Esta rúbrica considera para el análisis, los 5 componentes base del CPC presentes tanto el Modelo de Consenso del CPC como en el Modelo Refinado de Consenso del CPC. Los componentes que se analizan son:

- Conocimiento sobre el contenido.
- Conocimiento sobre la evaluación.
- Conocimiento sobre las estrategias didácticas.
- Conocimiento sobre la manera en la que los estudiantes aprenden.
- Conocimiento sobre el currículum.

En la Tabla 4.2 se exponen qué aspectos de cada componente del CPC son analizados. A cada uno de ellos se lo valoró utilizando la siguiente escala: Nulo, Insuficiente, Competente. En la Tabla 4.2 se explicitan los criterios utilizados para la respectiva valoración.

CPC	Nulo	Insuficiente	Competente
Indicador			
Conocimiento sobre el currículum			

Idoneidad de los conceptos en relación con el diseño curricular	No alineación de los conceptos trabajados con los prescriptos por el currículum	Baja Alineación de los conceptos trabajados con los prescriptos por el currículum	Adecuada alineación de los conceptos trabajados con los prescriptos por el currículum
Conocimiento sobre el contenido			
Correcta conceptualización	No se generan explicaciones de los conceptos	Explicaciones inexactas de los conceptos	Las explicaciones son precisas en concordancia con el canon de la física
Vínculos y conexiones con otros conceptos	No se generan conexiones con otros conceptos	Se generan pocas conexiones con otros conceptos	La mayoría de las conexiones posibles con otros conceptos son realizadas
Vínculos con la Naturaleza de la Ciencia	No existen actividades para trabajar la NdC	Se trabaja la NdC desde la actividad experimental o desde un enfoque histórico-biográfico de los científicos	Se incorporan actividades para trabajar aspectos de la complejidad de la construcción del conocimiento científico
Conocimiento sobre la comprensión de los estudiantes			
El docente reconoce posibles conocimientos previos de los estudiantes	No se prevé actividades para recabar las ideas previas de los estudiantes	Se intenta recabar las ideas previas con preguntas abiertas sobre el contenido a trabajar	Se intenta relevar las ideas previas de los estudiantes con la resolución de actividades pensadas para tal fin
El docente utiliza las ideas previas de los estudiantes para guiar la instrucción	Las ideas previas de los estudiantes no son tenidas en cuenta por el docente	Las ideas previas se contrastan con la palabra del docente	Las actividades producen cuestionamientos sobre los modelos que sustentan las ideas previas, ofreciendo a los estudiantes la posibilidad de que sus ideas progresen

El docente sondea la comprensión de los estudiantes con preguntas	El docente no evalúa el progreso de las ideas previas de los estudiantes	El docente enuncia que irá preguntando oralmente a los estudiantes sobre su comprensión sobre el tema	Se proponen actividades en las cuales se vuelven a utilizar los modelos previamente tensionados
Conocimiento sobre la estrategias de instrucción			
Apropiada secuenciación de los conceptos	No existe vínculo entre un concepto y el siguiente	Existe un vínculo entre los contenidos, pero el orden de los contenidos no es el apropiado	El orden y conexión entre los contenidos es apropiado
Problematización del contenido	No existe una actividad problematizadora del contenido	Propone una introducción al tema de manera oral, o con una comparación de características sin un problema a resolver, o con un video sobre el fenómeno	Utiliza un laboratorio o problema real para problematizar el contenido
Utilización Laboratorios/Simulaciones	No utiliza laboratorios, ni simulaciones	Utiliza laboratorios o simulaciones para validar la teoría	Propone laboratorios dentro del proceso de aprendizaje generando instancias de anticipación y contrastación de hipótesis
Discurso en el aula propuesto	La propuesta no contempla intervención de los estudiantes	La propuesta prevé sólo interacciones docente-estudiante, los estudiantes tienen baja o nula interacción entre ellos	El docente prevé discusiones y debate entre los estudiantes sobre la resolución de las actividades

Cierre de la clase	No existe un cierre de la clase en donde se expliciten las conclusiones elaboradas y el docente genere nuevos aportes	El cierre de la clase está desvinculado con las actividades realizadas. El docente genera una conceptualización del contenido sin contemplar los resultados de las actividades realizadas	EL cierre de la clase tienen relación con las actividades realizadas y parte desde los aportes/conclusiones de los estudiantes y el docente puede generar nuevos aportes o formalizaciones del contenido
Uso de estrategias que permitan la metacognición	No existen instancias de metacognición	Existen instancias de metacognición implícitas	Existen instancias de metacognición explícitas que permiten a los estudiantes valorar el proceso de aprendizaje. Valorando y comparando los alcances de los modelos previos y los nuevos modelos aprendidos por los estudiantes
Conocimiento sobre la estrategias de evaluación			
Momento y finalidad de evaluación del progreso de los estudiantes	No se evalúa el progreso de la comprensión de los estudiantes	Se evalúa sólo al final de la secuencia de forma sumativa persiguiendo objetivos de acreditación	Se evalúa a lo largo de la secuencia para valorar el progreso de las ideas de los estudiantes
Tipo de evaluación	Se utilizan preguntas que apuntan sólo al recuerdo de información	Se utiliza la resolución algorítmica de problemas	Se realizan actividades de reconstrucción del contenido a partir de la resolución de problemas abiertos y contextualizados

Tabla 4.2: Indicadores para categorizar cada componente del CPC

Para realizar la valoración de la secuencia elaborada por los estudiantes en primer lugar se analiza el **Conocimiento sobre la disciplina**. En este sentido se buscan en el diseño de las clases, los momentos en donde se prevé un discurso autoritativo por parte del docente donde cristalice las ideas que se están trabajando con los estudiantes. Se analizan la coherencia de las conclusiones/explicaciones que se prevé llegar en la clase, con el conocimiento canónico para caracterizar la correcta conceptualización del contenido. Paralelamente se observa si los conceptos trabajados en la secuencia son vinculados con otros. También se busca en la secuencia actividades que apunten a trabajar la Naturaleza de la Ciencia, una vez detectadas se caracteriza el grado nivel alcanzado en este punto según si trabaja la NdC desde la actividad experimental o trabajando soloamente aspectos biográficos de los investigadores (nivel insuficiente), o con actividades que apunten a reconocer el carácter humano, social, histórico y/o cultural de la Ciencia, o se realice un análisis epistemológico sobre la manera en la que se construye el conocimiento científico (nivel competente).

Para valorar el **conocimiento curricular** se observa en las clases diseñadas por los futuros docentes, el nivel de coherencia y alineamiento a los contenidos prescriptos por el diseño curricular.

Por otro lado se analiza el **conocimiento sobre la manera en la que comprenden los estudiantes** valorando cómo trabajan con las ideas previas de sus alumnos. En este sentido se observa qué tipo de actividades/preguntas prevén para reconocer las preconcepciones de los estudiantes. Luego se caracteriza la manera en la que esas ideas son tenidas en cuentas para guiar la clase. Por ejemplo, si las ideas previas son contrastadas sólo con las explicaciones del docente se considera que esa propuesta es insuficiente para lograr que las ideas de los estudiantes progresen. En cambio, si las ideas son contrastadas con resultados experimentales o las actividades diseñadas cuestionan los modelos que sustentan las preconcepciones de los estudiantes se considera que esas actividades alcanzan un nivel de competente en este ítem.

Para analizar el **conocimiento sobre las estrategias de instrucción**, en primera instancia se vuelve a recorrer la secuencia de actividades propuestas por los estudiantes de profesorado en sus diseños analizando la manera en la que se secuencian los contenidos. Se valora el orden lógico de los contenidos y el vínculo entre un contenido y el siguiente. Posteriormente se observa cómo se prevé comenzar con el trabajo del contenido, es decir si existe una problematización del contenido. En caso de que la secuencia prevea una instancia problematizadora se valora positivamente si se hace a través de una experiencia o un problema real. Seguidamente se buscan en el diseño actividades experimentales o que utilicen un simulador informático. En caso de encontrarla/s se analiza el uso

del recurso experimental. Si este es utilizado sólo con fines demostrativos es calificado como un uso insuficiente, en cambio, si es utilizado para que los estudiantes realicen predicciones/hipótesis, observen, debatan, expliquen y/o contrasten sus ideas, se valora como competente este ítem.

También se busca en el final de cada clase diseñada la presencia de un cierre de la clase en donde se cristalicen las conclusiones elaboradas por los estudiantes y el aporte de nuevo conocimiento por parte del docente.

Por último en lo que respecta al conocimiento sobre las estrategias de instrucción se busca en cada diseño la presencia de actividades de metacognición que intenten que los estudiantes visualicen el proceso de aprendizaje y cómo las actividades desarrolladas les ayudaron a que sus ideas progresen en dirección al canon de la física.

Finalmente, para analizar el **conocimiento sobre las estrategias de evaluación** en cada una de las secuencias elaboradas por los futuros docentes, se buscan instancias evaluativas. Una vez detectadas se valora el momento y finalidad de la evaluación, caracterizando como competente cuando se generan instancias evaluativas a lo largo de toda la secuencia para monitorear el progreso de las ideas de los estudiantes y redireccionar la propuesta. Además, se valora el tipo de recurso utilizado para evaluar. En este sentido, si la actividad evaluativa consiste en la resolución algorítmica de problemas se valora como insuficiente y si, por el contrario, son problemas abiertos que apunten a valorar la comprensión de los estudiantes se valora este ítem como competente.

4.3. El Instituto y el grupo clase en el que se desarrolla la investigación

La investigación se llevó adelante en el Profesorado de Educación Secundaria en Física del Instituto de Educación Superior Simón Bolívar de la ciudad de Córdoba durante las cohortes 2022 y 2023.

El Instituto es un reconocido establecimiento educativo de la ciudad y cuenta con 8 profesorado de distintas disciplinas entre los que se encuentra el Profesorado de Educación Secundaria en Física. Este profesorado se dicta en el turno vespertino y sus estudiantes se caracterizan por ser jefes de familia y trabajadores. En general, los estudiantes del profesorado en física se caracterizan por haber interrumpido su continuidad académica entre el secundario y los estudios superiores. Dada las responsabilidades familiares y laborales de los estudiantes, los futuros profesores poseen un tiempo acotado para su formación académica, esto produce que los alumnos intenten sacar el máximo provecho de cada instancia

formativa. La intervención se ha realizado en el espacio curricular de Fenómenos Electromagnéticos perteneciente al tercer año de la carrera durante las cohortes 2022 y 2023. En el año 2022 el curso contó con 2 estudiantes que asistían regularmente a las clases, mientras que en el año 2023 el curso contó con 6 estudiantes que cumplieron con una asistencia superior al 70 % de las clases.

En consonancia con lo descrito anteriormente sobre las características del alumnado del instituto, los estudiantes del profesorado de física participantes de la investigación, se caracterizan por ser trabajadores, con jornadas laborales de 6 a 8h de duración. Sólo una estudiante de los 8 participantes se dedica exclusivamente a las tareas estudiantiles. Siguiendo las preguntas sugeridas por [Rinaudo and Donolo \(2010\)](#), para analizar el contexto en dónde se lleva adelante la investigación se realizaron observaciones de clase y entrevistas semiestructuradas a los docentes de las asignaturas disciplinares del profesorado en física ([Velasco and Buteler, 2023](#)). Algunas de las preguntas fueron: ¿qué clase de clima de aprendizaje se establece en las clases disciplinares? y ¿qué piensan los profesores acerca de la naturaleza de la enseñanza y el aprendizaje, particularmente respecto de las asignaturas disciplinares?. Es posible decir que el clima en las clases disciplinares es, en general, del tipo escolástico. Los docentes de las asignaturas disciplinares suelen exponer contenidos y otorgar a sus estudiantes guías de problemas de papel y lápiz para que afiancen sus aprendizajes. El laboratorio suele ser un lugar poco visitado por los estudiantes del profesorado. Los profesores de las asignaturas disciplinares consideran que sus materias son más importantes que las correspondientes al campo pedagógico. En general el centro de las propuestas áulicas de los espacios curriculares disciplinares giran en torno al contenido científico pensado para un futuro científico o ingeniero y no para un futuro profesor.

En este contexto se desarrollan las implementaciones de la secuencia didáctica diseñada. En el capítulo siguiente se exponen las consideraciones que permitieron ajustar la propuesta entre la primera (2022) y la segunda iteración (2023) (ver Anexo I y II).

5.1. Resultados de la primera implementación

5.1.1. Resultados sobre la Apropiación del contenido de los estudiantes participantes de la primera implementación

Para la caracterización de la apropiación del contenido de los futuros docentes, se organizaron los resultados en torno a las ideas idiosincráticas y personales de los estudiantes del curso de FE. Se transcribieron extractos del discurso de los estudiantes, tanto de las clases como de la entrevista que se realizó al finalizar el curso, que permitieron reconocer la apropiación a través de los siguientes indicadores: sobre la idea idiosincrática (Marcador A), la coherencia entre esa idea y el canon de la física (Marcador B), la no incidentalidad (Marcador C), los aspectos metacognitivos de la idea (Marcador D) y el rol social de cada estudiante en base a la idea idiosincrática que lo caracteriza (Marcador E).

A continuación se exponen los resultados obtenidos de la caracterización de cada uno de los marcadores de apropiación para cada uno de los dos estudiantes del curso de Fenómenos Electromagnéticos pertenecientes a la cohorte 2022.

Fabrizio: “Los circuitos eléctricos en los dispositivos electrónicos”

Cuando la entrevistadora le pregunta ¿Podrías diferenciar los conceptos de potencia eléctrica, intensidad de corriente y diferencia de potencial, y reconocer en qué contextos te es útil diferenciarlos? Fabrizio responde “*se puede aplicar*

no solamente para medir la cantidad de potencia que está recibiendo un aparato eléctrico o electrónico, sino también para ejercicios prácticos y actividades que involucran circuitos eléctricos como puede ser una bifurcación en paralelo o una conexión en serie, además para poder producir transformadores caseros para las consolas de videojuegos o computadoras con las vueltas de las espiras”. En otro momento de la entrevista expresa: “yo arreglo computadoras y ahora cuando las arreglo entiendo más, aunque el procedimiento que hago es el mismo”. Estas expresiones del estudiante permiten reconocer en dónde el contenido aprendido toma valor para Fabrizio. Estas sentencias dadas por el cursante describen los contextos personales en los cuales el contenido se entrelaza con sus intereses personales (Marcador A).

A lo largo de la cursada es posible reconocer distintas oportunidades en las cuales Fabrizio hizo alusión al contexto de los dispositivos electrónicos para dar explicaciones sobre lo que comprendía: por ejemplo, en una clase hizo alusión a la intensidad de corriente que soportan las consolas de videojuegos, en otra oportunidad aportaba sobre la tensión (diferencia de potencial) a la que trabajan las distintas computadoras según su lugar de fabricación, o en otra oportunidad aportó qué rol juegan los cargadores/fuentes de las computadoras. A lo largo de las clases se detectaron múltiples intervenciones de Fabrizio en dónde utilizaba casos vinculados a consolas de videojuegos o computadoras que le permitía explicar y dar sentido al contenido aprendido (Marcador C, la no incidentalidad). Además, su razonamiento a la hora de resolver los problemas se caracterizaba por ser del tipo algorítmico como el que se suele utilizar en el ámbito de la programación computacional. Esto lo posiciona socialmente frente al resto de la clase, adquiriendo una posición de “líder” en la resolución de los problemas planteados. Su compañero respetaba ese posicionamiento y de forma pasiva esperaba que él desarrollara estrategias de resolución (Marcador E, el rol social del estudiante).

Cuando la entrevistadora le pregunta sobre los enfoques utilizados para la enseñanza (macro y micro), Fabrizio pudo reconocer la importancia de cada uno de los modelos utilizados y cómo se habían complementado (Marcador D, aspectos metacognitivos). Por ejemplo, en una parte de la entrevista Fabrizio dijo que “*El modelo macroscópico, la Ley de Ohm, tiene un gran poder resolutivo para los circuitos eléctricos. Sin embargo, el modelo microscópico vino a tapar los huecos o falencias del modelo macro*” ... “*Hasta que no vimos el modelo microscópico no tenía motivos para dudar de que los electrones que circulan por un circuito salen de la batería*”. No se registraron ni en la entrevista ni en la clase momentos en donde Fabrizio enuncie el sentido o lo que significa la física para él.

Es importante resaltar que las respuestas dadas por el estudiante tanto en las clases, las actividades escritas y en la entrevista siempre respetaban las normas

de la física, evidenciando un manejo fluido del contenido (Marcador B).

A continuación, se muestran los niveles alcanzados por Fabrizio para cada uno de los marcadores de apropiación.

	Marcador A	Marcador B	Marcador C	Marcador D	Marcador E
Fabrizio	Logrado	Logrado	Logrado	Limitado	Logrado

Tabla 5.1: Caracterización de los marcadores de Apropiación para el caso de Fabrizio

Mariano: “La electricidad doméstica”

A lo largo de la entrevista de Mariano es posible reconocer que él recurre a ejemplos domésticos para darle sentido a los conceptos de diferencia de potencial, potencia eléctrica e intensidad de corriente. En su discurso expresa que es importante *“reconocer la intensidad de corriente que tiene un aparato, la iluminación o toma corriente”*. Asocia el concepto de potencia eléctrica con *“cuántos watts tiene una bombilla”*, y el de diferencia de potencial con *“cuál es el voltaje de una batería”* (Marcador A, idea idiosincrática). El lugar en dónde el contenido toma sentido para Mariano es rastreable hacia atrás en la cursada. En distintas clases recurrió a casos similares a los utilizados en la entrevista para explicar o comprender los conceptos, por ejemplo, a la hora de comprender la diferencia de potencial utilizó las baterías de los automóviles como caso de análisis, o el caso del tipo de servicio eléctrico que le suministraban en su domicilio (Marcador C). Por ejemplo, en una oportunidad dijo: *“Cuando se corta la luz en casa y vuelve con mayor intensidad”* ... *“Antes en el barrio teníamos luz de obra y llegaban voltios de más”* (En relación a una cantidad elevada de diferencia de potencial).

Mariano da cuenta de algunas ideas intuitivas en su discurso, que no han progresado en dirección al conocimiento normativo. En distintos momentos en la entrevista muestra una ambigua conceptualización de los conceptos por los que se le pregunta. Es por ello que no es posible decir que el Marcador B, sobre la coherencia entre la idea idiosincrática y el canon de la física, esté presente. Por ejemplo, al hablar sobre el concepto de diferencia de potencial Mariano dijo: *“Las cargas si están en cero potencial no se mueven, pero si hay una diferencia de potencial se moverán”*. En otro momento Mariano dijo *“La batería cierra el circuito para que salgan los electrones y comiencen a circular”*.

Por otro lado, Mariano reconoce que el modelo microscópico complementa al modelo macroscópico, es capaz de reconocer las potencialidades de ambos (Marcador D, aspectos metacognitivos). En un momento de la entrevista el estudiante manifestó que *“El modelo microscópico vino a suplir esas partes que habían quedado colgadas del modelo macroscópico”*. No se registraron ni en la entrevista ni en la clase momentos en donde Mariano enuncie el sentido o lo que significa la física para él.

Por último, no fue posible reconocer y caracterizar el rol social de Mariano en la clase. En algunas clases parece tomar un rol del tipo operativo para el armado de circuitos eléctricos, pero no es posible argumentar que esto caracterice al lugar que el estudiante ocupa en la clase frente a su compañero (Marcador E).

A continuación, se muestran los niveles alcanzados por Mariano para cada uno de los marcadores de apropiación.

	Marcador A	Marcador B	Marcador C	Marcador D	Marcador E
Mariano	Logrado	Limitado	Logrado	Limitado	Limitado

Tabla 5.2: Caracterización de los marcadores de Apropiación para el caso de Mariano.

Comentario final sobre la apropiación del contenido de los estudiantes de la primera implementación

Analizando el marcador A de la apropiación para cada uno de los futuros docentes, observamos que la idea idiosincrática está relacionada con contextos de aplicabilidad de los contenidos que están trabajando. Estos contextos de aplicabilidad se caracterizan por ser situaciones cotidianas para cada uno de los estudiantes.

Por otro lado, observando el marcador E, sobre el rol social de los estudiantes en la clase, es posible advertir que la autoridad no estaba equitativamente distribuída entre los estudiantes. Si bien el docente logra correrse del centro de la escena de enseñanza, uno de los estudiantes adopta un rol de liderazgo sobre su compañero. Según los principios que sustentan el diseño esto atenta contra el involucramiento de los estudiantes en su proceso de aprendizaje (Velasco and Buteler, 2023).

Se visibilizan dificultades para que estos estudiantes de profesorado enuncien los aspectos metacognitivos que permiten visibilizar el sentido que tiene la física para cada uno de ellos. En el trabajo de Levrini et al. (2015), encontraron dificultades para que los estudiantes de secundaria expliciten aspectos metacognitivos. En nuestro contexto de investigación, la educación superior, los estudiantes participantes son adultos y no esperábamos encontrar esta dificultad. Este resultado debe ser considerado para repensar nuevas instancias en el diseño de la clase que ofrezcan oportunidades para que los estudiantes manifiesten los aspectos metacognitivos, es decir, que puedan expresar el sentido que la física tiene para ellos.

5.1.2. Resultados sobre el CPC de los estudiantes participantes de la primera implementación:

Como se mencionó en la sección metodología, los estudiantes que cursaban la asignatura Fenómenos Electromagnéticos durante el año 2022, paralelamente cursaban el espacio curricular de Práctica Docente III. En este contexto, la docente de ese espacio curricular que colaboró con nuestra investigación, les solicitó a cada uno de ellos que elaboraran el diseño de dos clases sobre un subtópico del tema circuitos eléctricos. Estas planificaciones de clases fueron los registros que se consideraron para caracterizar el conocimiento pedagógico del contenido de estos futuros docentes. Como se adelantó en el capítulo 4, se consideraron 5 dimensiones del CPC en las cuales se analizaron 15 ítems que se presentan en el siguiente listado:

Conocimiento sobre el currículum

- Idoneidad de los conceptos en relación con el diseño curricular.

Conocimiento sobre la disciplina

- Correcta conceptualización de los contenidos.
- Vínculos y conexiones con otros conceptos.
- Vínculos con la Naturaleza de la Ciencia

Conocimiento sobre la comprensión de los estudiantes

- El docente reconoce posibles conocimientos previos de los estudiantes.
- El docente utiliza las ideas previas de los estudiantes para guiar la instrucción.
- El docente sondea la comprensión de los estudiantes con preguntas.

Conocimiento sobre la estrategias de instrucción

- Apropiada secuenciación de los conceptos.
- Utilización Laboratorios/Simulaciones.
- Discurso en el aula propuesto.
- Cierre de la clase.
- Uso de estrategias que permitan la metacognición.

Conocimiento sobre la estrategias de evaluación

- Momento y finalidad de la evaluación.
- Tipo de instrumento utilizado para evaluar.

Caracterización del CPC de Fabrizio

En la secuencia de actividades diseñada por Fabrizio se registra una correcta conceptualización de los conceptos trabajados. En este caso están vinculados con el efecto Joule y con la resistencia interna de una batería. En la propuesta se establecen vínculos con conceptos que se suponen que los estudiantes habían trabajado anteriormente. Por ejemplo, en una de las actividades propuestas Fabrizio propone analizar lo que ocurriría con la intensidad de corriente en el caso que se tuviera un circuito eléctrico con resistencia eléctrica igual a 0Ω (Fig. 5.1).

Tienen una batería ideal con un cable "sin resistencia", y se le solicita que, usando las ecuaciones vistas hasta el momento, intenten responder de manera teórica que ocurriría si se cierra el circuito sin ninguna resistencia conectada.

$$I = \frac{v}{r} \Rightarrow I = \frac{v}{0} \Rightarrow I = \infty$$

En esta actividad, se espera que los alumnos lleguen a la situación ilógica de que cualquier voltaje dividido por cero (es decir, una batería conectada sin ninguna resistencia) debería tener una cantidad infinita de intensidad de corriente, algo imposible en nuestro mundo físico.

Figura 5.1: Actividad presentada por Fabrizio en donde se establecen conexiones con otros contenido.

En la propuesta de Fabrizio no se visualizan actividades en donde se trabajen aspectos de la Naturaleza de la Ciencia. Por otro lado, los contenidos trabajados en el diseño de Fabrizio se ajustan al diseño curricular jurisdiccional.

En relación al conocimiento sobre la manera en la cual comprenden los estudiantes, en el diseño presentado por Fabrizio se evidencia un trabajo con las preconcepciones de los estudiantes. Por ejemplo, en la actividad presentada anteriormente tiene la intención de relevar la idea previa sobre el comportamiento de circuitos eléctricos ideales sin resistencia. A la vez, intenta tensionar esas preconcepciones con el uso de un simulador informático a partir de la actividad que se muestra en la Fig. 5.2.

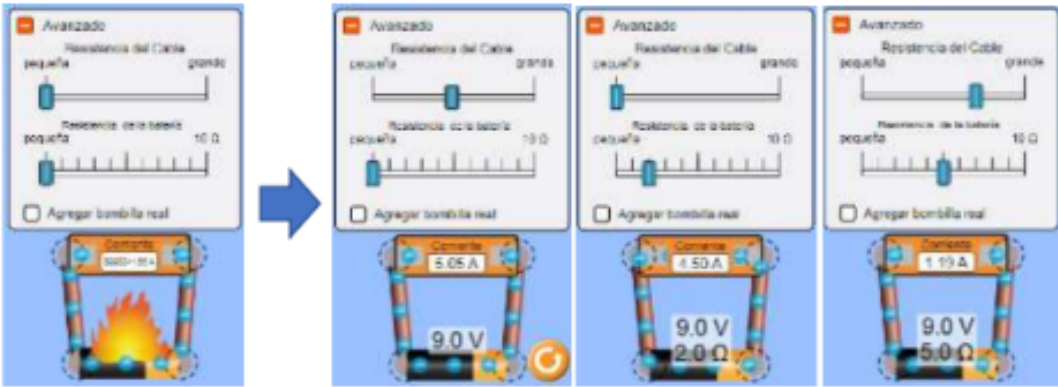
En el diseño no se visualizan instancias en donde Fabrizio prevea analizar cómo están progresando las ideas de los estudiantes. Sólo se remite a realizar cierres de cada actividad en donde el docente de forma autoritativa expone las conclusiones a las que se debería haber llegado con la realización de las actividades.

Sobre las estrategias de instrucción utilizadas en la secuencia presentada por Fabrizio, se observa una secuenciación apropiada de los contenidos. El futuro do-

Actividad 3 (grupal, 3 estudiantes):

Se les indica a los alumnos que ellos serán los encargados de solucionar esta situación aparentemente ilógica, se les entrega una computadora con el simulador del Phet colorado, donde se les indica que son libres de afectar las variables que consideren necesarias para solucionar la siguiente situación:

https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab/latest/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab_es.html



Las variables que solucionan el siguiente problema son las resistencias propias de los elementos (En este caso, tanto del cable como de la batería), por lo que modificando estas variables se llega a la conclusión de que debe existir una resistencia propia interna que permita solucionar el "fuego"

Figura 5.2: Actividad presentada por Fabrizio para tensionar ideas previas.

cente advierte los contenidos que deben haberse trabajado previamente, además de manera acertada trabaja de forma progresiva la comprensión de un circuito real. Es decir, en primera instancia se propone abordar la resistencia interna de una batería y luego la resistencia asociada a los cables conductores del circuito. Además, cada actividad está vinculada con su sucesora y con la que la antecede.

Se observa una problematización de los contenidos, partiendo de situaciones reales. Por ejemplo, para comenzar a trabajar con la resistencia interna de una batería propone analizar el comportamiento de la intensidad de corriente máxima en distintas baterías reales (Fig. 5.3).

Aunque el diseño de las consignas es mejorable, se observa que el uso de las instancias de laboratorio virtual que se propone, se caracteriza por generar preguntas para que los estudiantes realicen anticipaciones, y luego con la experimentación validen sus predicciones y avancen en el conocimiento (Fig. 5.4).

En la resolución de las actividades se espera que los estudiantes debatan sobre sus ideas y los resultados obtenidos, es decir que visualiza la intención de que el discurso sea dialógico en donde los aportes de los estudiantes son escuchados y tenidos en cuenta. No se visualizan actividades que apunten a trabajar aspectos metacognitivos en el diseño elaborado por Fabrizio. La instancia evaluativa



Figura 5.3: Actividad presentada por Fabrizio que pretende problematizar el contenido.

aparece al final de las dos clases, y consiste en la validación algorítmica de los principios trabajados.

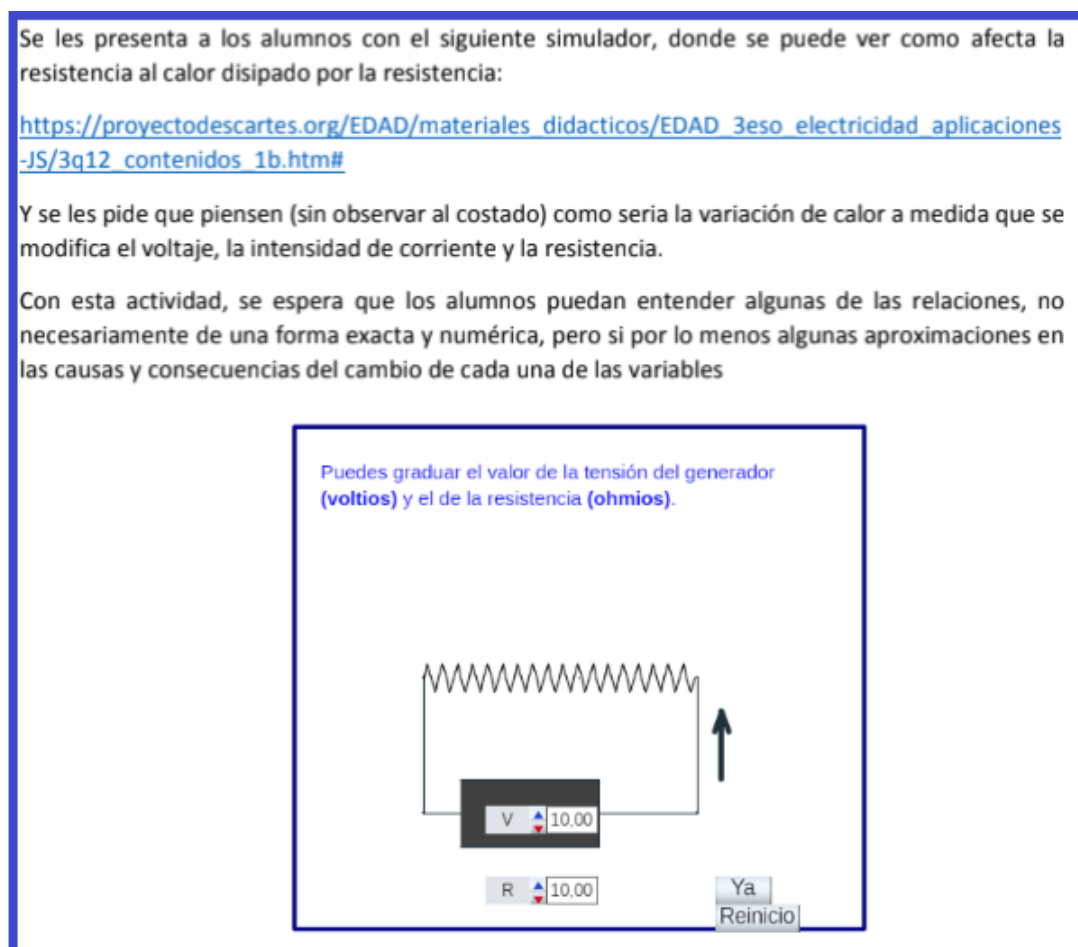


Figura 5.4: Actividad presentada por Fabrizio en base a un simulador que pretende que los estudiantes contrasten sus ideas previamente explicitadas.

CPC Indicador	Fabrizio
Conocimiento sobre el currículum	
Idoneidad de los conceptos en relación con el diseño curricular	Competente
Conocimiento sobre el contenido	
Correcta conceptualización	Competente
Vínculos y conexiones con otros conceptos	Competente
Vínculos con la Naturaleza de la Ciencia	Nulo
Conocimiento sobre la comprensión de los estudiantes	
El docente reconoce posibles conocimientos previos de los estudiantes	Competente
El docente utiliza las ideas previas de los estudiantes para guiar la instrucción	Competente
El docente sondea la comprensión de los estudiantes con preguntas	Competente
Conocimiento sobre la estrategias de instrucción	
Apropiada secuenciación de los conceptos	Competente
Problematización del contenido	Competente
Utilización Laboratorios/Simulaciones	Competente
Discurso en el aula propuesto	Competente
Cierre de la clase	Competente
Uso de estrategias que permitan la metacognición	Nulo
Conocimiento sobre la estrategias de evaluación	
Momento y finalidad de evaluación del progreso de los estudiantes	Insuficiente
Tipo de evaluación	Insuficiente

Tabla 5.3: Caracterización del CPC de Fabrizio

Caracterización del CPC de Mariano

La secuencia de clase diseñada por Mariano tiene como objetivo que los estudiantes identifiquen los elementos necesarios para la construcción de un circuito eléctrico. Además, pretende que los estudiantes se aproximen a la idea de diferencia de potencial eléctrico. Estos objetivos de enseñanza se ajustan a los prescriptos por el diseño curricular jurisdiccional.

En el diseño presentado por Mariano no se detectan cierres de clase en dónde se expliciten las conclusiones y aportes teóricos en los cuales sea visible el cono-

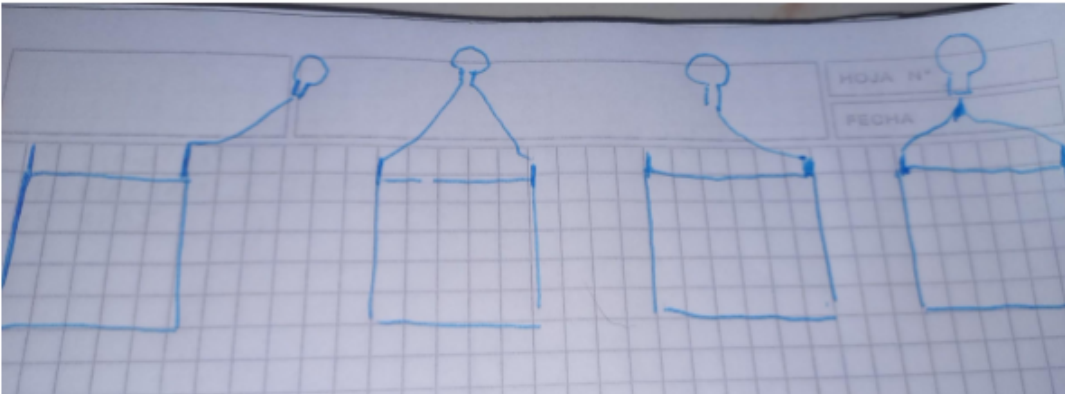
cimiento que Mariano posee sobre la disciplina. No obstante, por las actividades planteadas, es posible advertir que Mariano posee el conocimiento sobre esos contenidos. Por ejemplo, en una actividad intenta que los estudiantes realicen un paralelismo entre la diferencia de energía potencial gravitatoria por unidad de masa de una roca cuando cae libremente, con la diferencia de potencial de una carga en dos puntos de un circuito. En esa actividad es el único momento en donde Mariano realiza una conexión con otros conceptos a lo largo de su diseño.

En el diseño de Mariano se visualiza una actividad que pretende trabajar la Naturaleza de la Ciencia. Aunque la actividad es mejorable, se reconoce el intento de trabajar el contenido a partir de una controversia histórica. En la actividad (Fig. 5.5) no se prevén instancias de conexión entre el contenido que están trabajando y la controversia abordada. A continuación se muestra la consigna diseñada por Mariano :

Actividad 3(20min)aporte historico
se proporciona fotocopia con la controversia histórica de galvani y Volta
Preguntas:
1- que aportes realizaron ambos científicos
2-que diferencia existieron entre ambos

Figura 5.5: Actividad presentada por Mariano para trabajar la NdC.

En el diseño presentado por Mariano se intenta relevar algunas preconcepciones de los estudiantes sobre la necesidad de que un circuito eléctrico sea cerrado con la actividad que se muestra en la Fig. 5.6.



Preguntas
1- cuál de los siguientes circuitos cree que encenderá la lámpara?
2- porque?

Figura 5.6: Actividad presentada por Mariano para recabar algunas preconcepciones de los estudiantes sobre circuitos eléctricos.

El estudiante no reporta las posibles respuestas que podrían dar los estudiantes, ni mucho menos cómo las tiene en cuenta para las siguientes actividades.

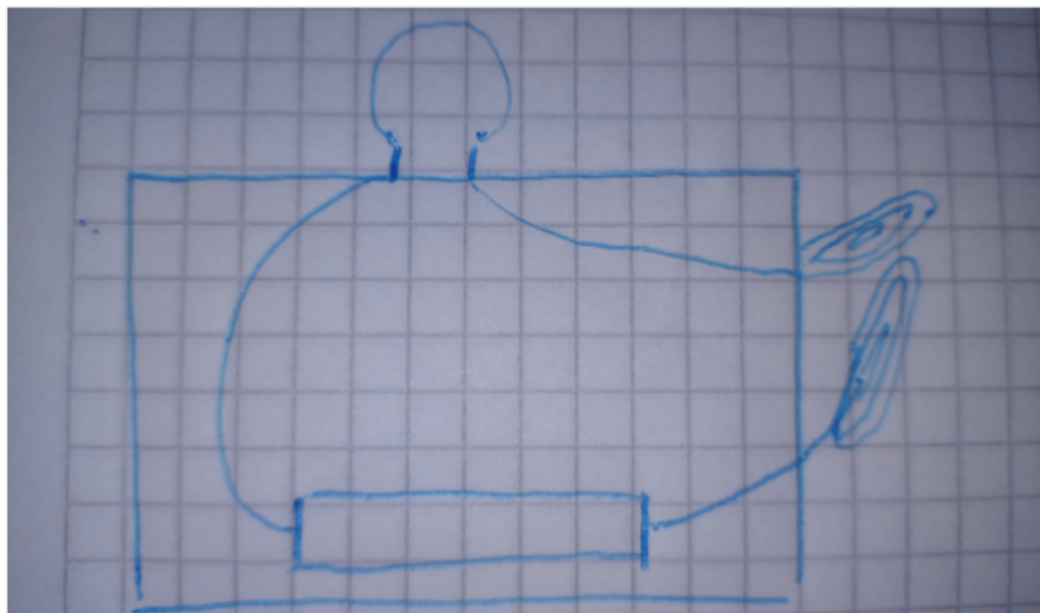
También se observa que el futuro docente, prevé un momento para monitorear el progreso de las ideas de los estudiantes en relación a los circuitos eléctricos a través de la siguiente actividad (Fig. 5.7).

Actividad 3 (20 min) evaluar
elaborar en grupos de 4 con materiales previstos un circuito eléctrico que encienda la lámpara.

Figura 5.7: Actividad presentada por Mariano para evaluar el progreso de las ideas previas de los estudiantes.

Sobre las estrategias de instrucción se observa una adecuada secuenciación de los contenidos. En primer lugar se trabaja la composición de un circuito eléctrico y luego, una vez que los estudiantes han comprendido los componentes de un circuito, se avanza con la conceptualización de la magnitud diferencia de potencial.

Para introducir a los alumnos en fenómenos eléctricos se prepara una caja con lámpara por fuera, un cable que sale de adentro con un clip, una batería adentro de la caja y un clip sobre la caja para que los alumnos al chocar los clips vean como se enciende la luz(van a pasar a demostrar 2 alumnos)



Actividad 1(15min) ideas previas
En base a lo visto anteriormente se pregunta
1- describir lo sucedido?
2- que cree que paso?

Figura 5.8: Actividad presentada por Mariano para problematizar el contenido.

Al iniciar la clase se plantea una situación sencilla de laboratorio como problematizador del contenido (Fig. 5.8). En toda la secuencia el laboratorio se utiliza o para dar inicio al tema o para corroborar la teoría, no se prevé que el laboratorio o simulación sean parte del proceso de aprendizaje.

A lo largo de las actividades no se prevén intercambios entre los estudiantes, todas las actividades son para resolver de forma individual.

Por último, al igual que en la secuencia diseñada por Fabrizio, en la de Mariano no se observan actividades que apunten a trabajar aspectos metacognitivos.

CPC Indicador	Mariano
Conocimiento sobre el currículum	
Idoneidad de los conceptos en relación con el diseño curricular	Competente
Conocimiento sobre el contenido	
Correcta conceptualización	Competente
Vínculos y conexiones con otros conceptos	Insuficiente
Vínculos con la Naturaleza de la Ciencia	Insuficiente
Conocimiento sobre la comprensión de los estudiantes	
El docente reconoce posibles conocimientos previos de los estudiantes	Competente
El docente utiliza las ideas previas de los estudiantes para guiar la instrucción	Competente
El docente sondea la comprensión de los estudiantes con preguntas	Insuficiente
Conocimiento sobre la estrategias de instrucción	
Apropiada secuenciación de los conceptos	Competente
Problematización del contenido	Competente
Utilización Laboratorios/Simulaciones	Insuficiente
Discurso en el aula propuesto	Nulo
Cierre de la clase	Competente
Uso de estrategias que permitan la metacognición	Nulo
Conocimiento sobre la estrategias de evaluación	
Momento y finalidad de evaluación del progreso de los estudiantes	Competente
Tipo de evaluación	Insuficiente

Tabla 5.4: Caracterización del CPC de Mariano

Comentario final sobre los CPC de los estudiantes de la primera implementación

Tal como se detectó en el análisis de la apropiación, la Tabla 5.3 y la Tabla 5.4 muestran diferencias en el conocimiento del contenido interpretado desde el diseño de la clase. Fabrizio logra mejores resultados que Mariano en este punto. En ambos casos se observa una utilización de algunas estrategias de instrucción trabajadas en la asignatura FE, sin embargo, la clase elaborada por Fabrizio logra mejores valoraciones de este componente del CPC. También, se aprecia que las propuestas intentan considerar como punto de partida las ideas previas de los estudiantes. Sin embargo, Fabrizio logra trabajar con las ideas previas de los estudiantes mientras que en la propuesta de Mariano éstas se relevan pero no son consideradas para el desarrollo del contenido.

Se advierte que en ninguna de las propuestas se han trabajado aspectos de la Naturaleza de la Ciencia. Además, se observa que ambas propuestas carecen de instancias metacognitivas para que sus futuros estudiantes adviertan el/los procesos de aprendizajes desarrollados.

A continuación se exponen dos gráficos que muestran de manera general los niveles alcanzados de los 15 componentes del CPC analizados en cada una de las propuestas.

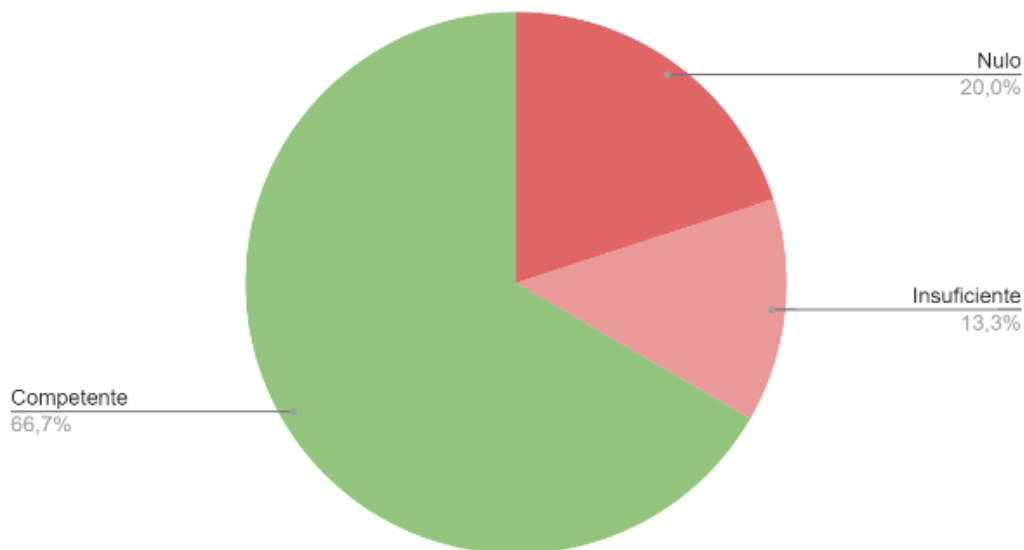


Figura 5.9: CPC de Fabrizio.

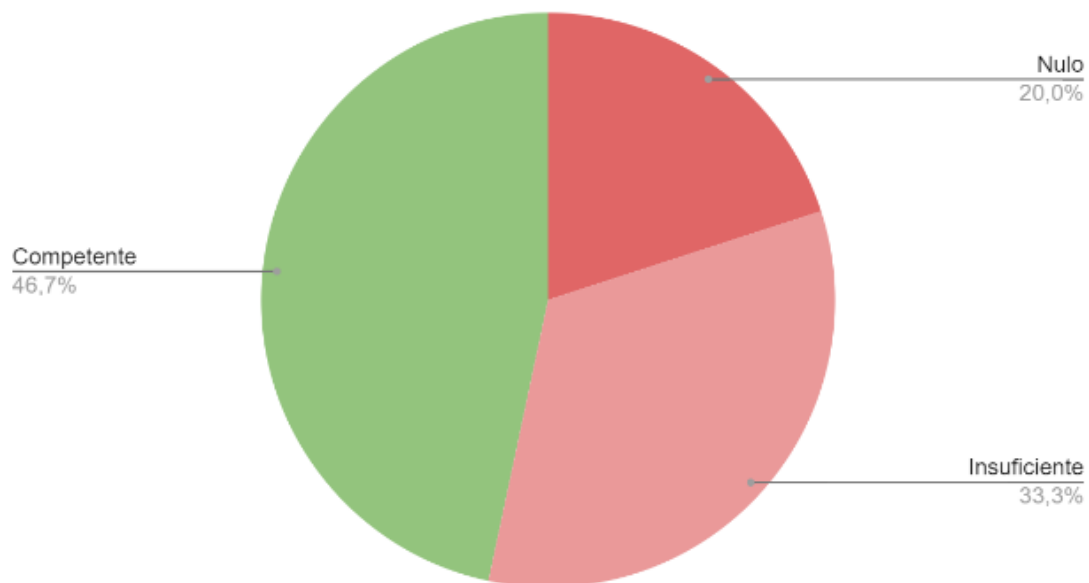


Figura 5.10: CPC de Mariano.

5.2. Ajustes en el diseño

5.2.1. Análisis retrospectivo de la SEA tras la primera implementación

La Investigación Basada en el Diseño subraya la necesidad de que se incluyan instancias de evaluación que hagan explícitos los diferentes aspectos de la evaluación de la Secuencia de Enseñanza Aprendizaje (SEA) (Plomp and Nieveen, 2009). Tomando como referencia a Guisasola et al. (2021), proponemos un análisis retrospectivo de la implementación de la SEA considerando dos dimensiones: el análisis de la calidad de la secuencia y el análisis de los resultados del aprendizaje.

Guisasola et al. (2021) proponen algunas consideraciones para el análisis de la calidad de la secuencia. Se toman esos puntos de análisis y se suma otro para el caso particular de este trabajo de investigación. Para valorar la calidad de la SEA y realizar los ajustes correspondientes se consideraron los siguientes puntos:

1. Los problemas relacionados con la claridad de las actividades que deben realizar los estudiantes.
2. Los problemas relacionados con el tiempo necesario para completar la secuencia.
3. Las dificultades de aprendizajes detectadas y no resueltas a lo largo de la secuencia.

4. Los problemas imprevistos inherentes al escribir una nueva secuencia con contenido innovador.

Los datos sobre los cuales se realizó el análisis de la calidad de la SEA surgen de los registros audiovisuales, las notas de clase del docente, las producciones de clase de los estudiantes y de la entrevista semiestructurada realizada a los dos estudiantes de la cohorte 2022. Los emergentes de dicho análisis se detallan a continuación.

1. Sobre la claridad de las actividades

- a) Las actividades para trabajar la Naturaleza de la Ciencia en relación a la controversia Galvani-Volta consistían en un texto que resultó de difícil lectura para los estudiantes. Además, al ubicar la lectura de dicha controversia en el comienzo de la unidad didáctica trajo inconvenientes ya que no quedaba claro si el circuito formado en la experiencia de Galvani era cerrado. Esto apuntalaba la persistencia de modelos de circuitos eléctricos monopolares.
- b) Algunos laboratorios abiertos no condujeron a los objetivos propuestos, como por ejemplo el que se utilizó para aproximar a los estudiantes a la Ley de Ohm. Los estudiantes no advirtieron qué registros les podían ser útiles para validar sus hipótesis sobre la posible relación entre la intensidad de corriente y la diferencia de potencial eléctrica.
- c) Para trabajar el concepto de resistencia eléctrica se utilizó un modelo hidráulico. Esta analogía fue de poca utilidad para los estudiantes puesto que no lograron advertir la naturaleza microscópica del fenómeno eléctrico.

2. Sobre el tiempo para desarrollar la SEA

- a) El tiempo para desarrollar la secuencia referida a circuitos eléctricos fue correcto, sólo fue necesario extender una clase más de lo previsto inicialmente, para la finalización de las actividades programadas. La dilatación temporal ocurrió debido a la extensión de una guía integradora sobre circuitos eléctricos.

3. Sobre dificultades de aprendizajes no resueltas

- a) En la entrevista a los estudiantes se evidenció que uno de ellos tenía dificultades para diferenciar con claridad y precisión los conceptos de diferencia de potencial, intensidad de corriente eléctrica y potencia

eléctrica. También se detectaron algunas dificultades con las herramientas matemáticas a la hora de resolver ecuaciones vinculadas con los fenómenos en estudio.

- b) Los estudiantes aprendieron a resolver circuitos eléctricos en paralelo y en serie a partir de “axiomas” que surgieron de las experiencias de laboratorio, sin poder analizar microscópicamente lo que ocurre en cada configuración.
- c) Se registraron dificultades en el abordaje de los circuitos eléctricos reales, en los cuales se incorpora la resistencia interna de la fuente y la resistencia de los cables del circuito. Estas dificultades están asociadas a no comprender de manera microscópica a los circuitos eléctricos

4. Sobre problemas imprevistos

- a) Los estudiantes no expresaron en la entrevista realizada la importancia de las actividades de recapitulación de las estrategias didácticas utilizadas. Sí lograron realizar un análisis metacognitivo sobre las estrategias que les permitieron comprender mejor un tema pero no destacaron las actividades diseñadas para realizar esta metacognición a lo largo de la SEA.

5.2.2. Cambios de Diseño en la SEA

Para el abordaje de los puntos descritos en la sección anterior en relación a aspectos que deben ajustarse en el diseño para la segunda implementación de la SEA se encuentran los siguientes cambios:

1. a) Para trabajar la Naturaleza de la Ciencia con la controversia Galvani-Volta se propone un nuevo texto, de lectura más sencilla y comprensible. También se decide ubicar el trabajo con esta controversia en la etapa final de la secuencia cuando los estudiantes ya han superado las condiciones que debe cumplir un circuito eléctrico para su funcionamiento, evitando así reforzar modelos alternativos alejados del modelo canónico. Por último, se modificaron algunas preguntas para trabajar con el nuevo texto (Anexo IV).

Actividad
 Luego de leer el material provisto responda las siguientes preguntas:

- 1- ¿Qué concepciones tenía la comunidad científica sobre la electricidad al momento que Galvani realiza sus experiencias?
- 2- ¿Cuáles fueron los indicadores que llevaron a Galvani a concluir en sus postulados?
- 3- ¿Qué aspectos de lo realizado por Galvani no fueron convincentes para Volta y lo llevaron a realizar nuevas pruebas?
- 4- ¿Cuáles fueron los argumentos que Volta presentó contra la idea de Galvani?
- 5- ¿Por qué crees que la comunidad científica se dividió entre ambos postulados sin inclinarse hacia uno de ellos?
- 6- Si te hubiese tocado vivir en esos años con qué postura hubieses estado más de acuerdo ¿Por qué?

Figura 5.11: Actividad sobre la controversia Galvani-Volta utilizada en la primera implementación.

Actividad 1
<p>Luego de leer el material provisto responda las siguientes preguntas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1- ¿Cuáles fueron los indicadores que llevaron a Galvani a concluir en sus postulados? 2- ¿Por qué existía una diferencia de potencial entre la rana y el cuadro de Franklin en el experimento de la Figura 2 c)? 2- ¿Qué aspectos de lo realizado por Galvani no fueron convincentes para Volta y lo llevaron a realizar nuevas pruebas? 3- ¿Cuáles fueron los argumentos que Volta presentó contra la idea de Galvani? 4- ¿Cuáles de los rasgos de la Naturaleza de la Ciencia visualizas en el texto? ¿Por qué? <ul style="list-style-type: none"> • El valor experimental en la construcción del conocimiento • La naturaleza humana de la ciencia • Las controversias como forma de construcción del conocimiento • Carácter provisional y evolutivo de la ciencia • Relación Ciencia -Sociedad

Figura 5.12: Actividad sobre la controversia Galvani-Volta utilizada en la segunda implementación.

- b) Para orientar a los estudiantes se sustituyen algunos laboratorios abiertos por laboratorios guiados. La intención es que estos laboratorios les permita a los estudiantes visualizar con claridad las características del fenómeno que se está analizando. A continuación se comparte la propuesta inicial y luego la propuesta rediseñada para trabajar la relación entre la intensidad de corriente eléctrica y la diferencia de potencial.

Retomando la inquietud de Ohm se les realiza la siguiente pregunta a los estudiantes que guiará esta clase

¿Son independientes la diferencia de potencial y la intensidad de corriente eléctrica en un circuito?

Se les solicita a los estudiantes que respondan esa pregunta desde sus concepciones hasta el momento y la compartan con la clase.
 Tiempo estimado 10 min

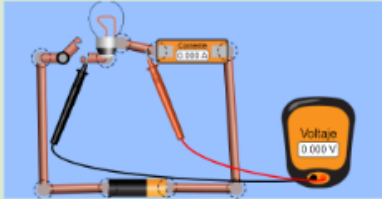
Luego se les solicita armar grupos de 2 o estudiantes y que diseñen una experiencia para dar respuesta a esa pregunta
 Tiempo estimado 15 min.

Una vez presentada la misma, y aprobada por el docente se disponen a realizarla.
 Tiempo estimado 40 min

Figura 5.13: Actividad para trabajar la relación entre la diferencia de potencial y la intensidad de corriente eléctrica en la primera implementación.

Actividad 4

1) Para intentar determinar qué tipo de relación, utilizando el simulador Phet, elaborar el siguiente circuito y completar las columnas 1, 2 y 3 de la tabla.



Intensidad de Corriente (i)	Diferencia de Potencial (ΔV)	$\frac{\Delta V}{i}$	Resistencia
A	9 V		Ω
A	18 V	10	Ω
2,6 A	26 V	10	10 Ω
3 A	30 V	10	10 Ω

2) Para cada uno de los casos registre el valor de la “resistencia” en la unidad de ohms, y complete la cuarta columna.

3) Realice dos tablas como la del punto 1) pero en un caso configuren para que la resistencia valga 20 ohms y en otro para que valga 30 ohms.

4) Escribe la relación entre ΔV , i y R válida para todos los casos anteriores

Figura 5.14: Actividad para trabajar la relación entre la diferencia de potencial y la intensidad de corriente eléctrica en la segunda implementación.

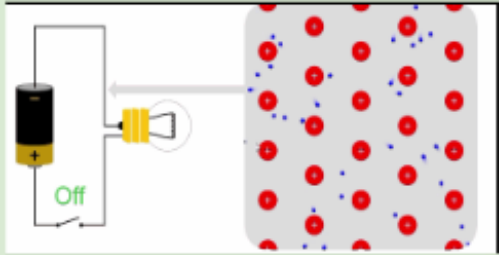
- c) Para trabajar el concepto de resistencia eléctrica desde una mirada microscópica se decide sustituir la actividad que utilizaba un modelo hidráulico de la electricidad por el Modelo de Drude. A continuación

se muestran la actividad propuesta inicialmente y la actividad de la nueva versión (Fig. 5.15 y Fig. 5.16).

2. a) El tiempo no había sido un inconveniente sustancial, sin embargo se decide recortar una guía de actividades utilizada inicialmente y agregar algunos ejercicios para resolver en la casa a lo largo de toda la secuencia. Esto evitaría una sobrecarga en los estudiantes en un momento puntual de la secuencia, que llevaría a que los futuros profesores no culminen con las actividades previstas.

Actividad 2

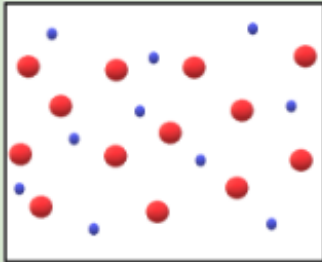
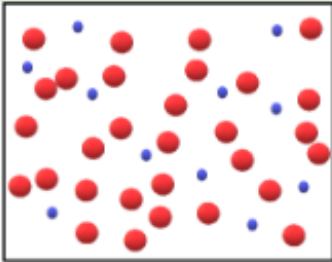
A continuación se les muestra un modelo del comportamiento de los electrones libres en un tramo del cable conductor de un circuito. Noten que los electrones se mueven de forma caótica y rebotan en los núcleos de los átomos debido a la temperatura a la que se encuentra el material, sin efectivizar un desplazamiento neto.



En la resistencia los electrones se mueven de la misma manera que en el cable. A continuación se les muestra un modelo microscópico de dos resistencias

Resistencia 1

Resistencia 2

En grupos de 2 estudiantes respondan:

- ¿ Qué les ocurrirá a los electrones libres de la resistencia 1 si aplico una diferencia de potencial entre sus terminales?
- ¿ Qué les ocurrirá a los electrones libres de la resistencia 2 si aplico una diferencia de potencial entre sus terminales?
- ¿ Consideran que fluirán con la misma facilidad los electrones libres de la resistencia 1 en comparación de la resistencia 2? ¿Por qué?

Figura 5.15: Actividad para trabajar el concepto de resistencia eléctrica en la segunda implementación.

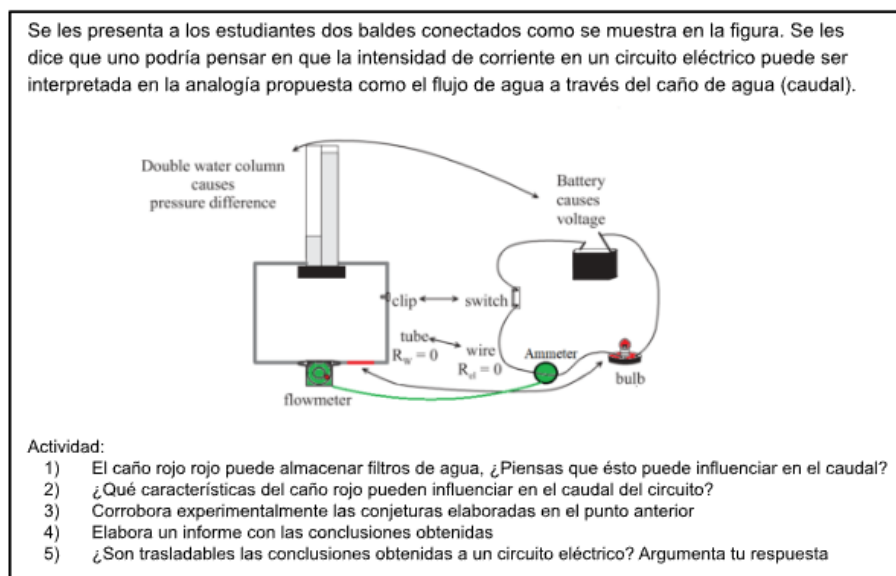


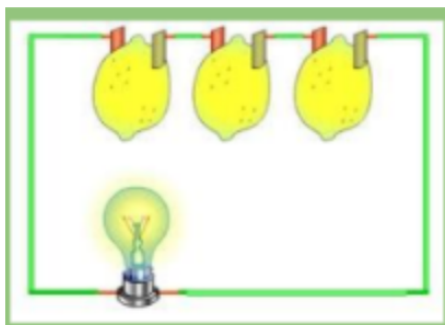
Figura 5.16: Actividad para trabajar el concepto de resistencia eléctrica en la primera implementación.

3. a) Para trabajar mejor la diferenciación entre los conceptos de diferencia de potencial eléctrico, intensidad de corriente eléctrica y potencia eléctrica se modifican algunas actividades respetando tanto los resultados de investigación que sustentan el diseño del apartado anterior como la estructura general de cada clase. Un recurso propuesto consiste en una analogía entre los circuitos eléctricos y el traslado de arena de un punto a otro mediante baldes llevados por personas. Es importante notar que esta analogía es un punto de partida para el abordaje del contenido. En clases posteriores se trabajan las limitaciones de la analogía y se avanza hacia modelos más cercanos al conocimiento canónico. En la actividad diseñada para la primera implementación se esperaba que los estudiantes pudieran preguntarse qué elemento es el que lleva la energía desde la fuente hasta la lámpara, pero esto no ocurrió. Es por ello que se propone la actividad de la analogía para poder discutir con los estudiantes algunos procesos en un marco que les sea familiar y cotidiano para luego llevar esas conclusiones al contexto de los circuitos eléctricos.

Actividad perteneciente a la primera implementación

Los estudiantes debían construir el circuito que se muestra en la figura de la actividad, utilizando un limón, luego con dos limones y finalmente con tres limones. Luego debían responder, en grupos, las preguntas que se listan debajo de la imagen

- 1 ¿Cómo es el flujo de energía en el tercer caso? Realicen un esquema que represente el flujo.



- 2 ¿Son necesarios ambos cables? ¿Por qué?
- 3 ¿Por qué en el primer caso la lámpara no enciende y luego tenuemente para finalizar encendiendo en el tercer caso?
- 4 ¿Qué elemento transporta la energía?
- 5 ¿Cómo se puede llevar más energía a la lámpara?

Nota para el docente: Con la preguntas 1 y 2 se espera generar una nueva situación de tensión con los modelos unipolares que pueden aún persistir en los estudiantes. La pregunta 3 intenta direccionar a los estudiantes a pensar en cantidades de energía. Se espera que alguno de los grupos pueda reconocer a las cargas eléctricas como elementos que transportan energía

Actividad perteneciente a la segunda implementación

Pensaremos en una situación que luego nos permitirá comprender mejor los circuitos eléctricos:

Dos equipos llamados los Azules y los Rojos compiten para ganar la copa. Cada equipo debe trasladar la mayor cantidad de arena posible, desde la montaña hasta el punto pactado en 2 minutos. El equipo Azul está formado por 3 personas mientras que el equipo Rojo por 6 personas. Los baldes que utiliza el equipo Azul para trasladar la arena son de 2 litros de capacidad, mientras que los del equipo Rojo son de 1 litro. Sólo es posible trasladar la arena en baldes y las personas corren a la misma velocidad aproximadamente aunque estén llevando carga.

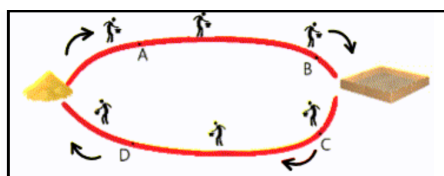
- 1 ¿Quién crees que ganará la competencia?
- 2 Si los baldes del equipo Azul fueran de 3 litros ¿Podrías anticipar quién ganaría?
- 3 Si los baldes del equipo Azul fueran de 3 litros pero el equipo rojo tuviera 10 integrantes. ¿Podrías anticipar quién ganaría?
- 4 ¿Qué factores influyen en la cantidad de arena que se traslada en el tiempo acordado?

Con el fin de establecer un puente entre los circuitos eléctricos y la analogía, para lograr la diferenciación entre corriente eléctrica y diferencia de potencial en un circuito eléctrico, y además, cómo éstas se relacionan con la energía utilizada en una unidad de tiempo, se les pregunta a los estudiantes: sabiendo que las cargas transportan energía ¿cómo sería posible trasladar mayor cantidad de energía en un

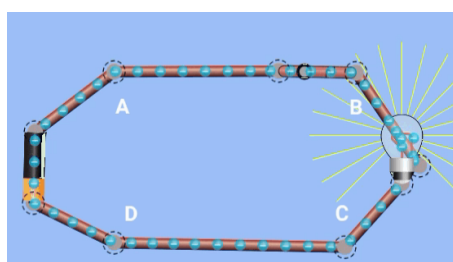
mismo lapso de tiempo desde la fuente a la lámpara? y para seguir tensionando los modelos de circuitos monopolares ¿qué sucede con las cargas una vez que entregan la energía a la lámpara?. Luego en grupos resuelven las siguientes consignas

Retomemos la analogía con la que venimos trabajando (ver Fig. 5.51). Supongamos que cada persona puede llevar en su balde 3 litros de arena. Respondan:

- 1 ¿Qué diferencia de cantidad de arena tendrán los baldes que pasan por el punto B con respecto a los que pasen por el punto C?
- 2 ¿Qué diferencia de cantidad de arena tendrán los baldes que pasan por el punto A con respecto a los que pasen por el punto B?
- 3 ¿Qué diferencia de cantidad de arena tendrán los baldes que pasan por el punto C con respecto a los que pasen por el punto D?
- 4 ¿Qué diferencia de cantidad de arena tendrán los baldes que pasan por el punto D y con respecto a los que pasen por el punto A?



Ahora pensemos en el siguiente circuito que se muestra en la siguiente imagen:



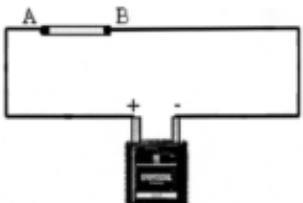
- 1 ¿Qué cantidad de energía tienen las cargas en el punto B? ¿Y en C?
- 2 ¿Qué cantidad de energía tienen las cargas en el punto D? ¿Y en A?
- 3 ¿Qué diferencia de energía tendrán las cargas que pasan por el punto B con respecto a las que pasen por el punto C?
- 4 ¿Qué diferencia de energía tendrán las cargas que pasan por el punto A con respecto a las que pasen por el punto B?
- 5 ¿Qué diferencia de energía tendrán las cargas que pasan por el punto C con respecto a las que pasen por el punto D?
- 6 ¿Qué diferencia de energía tendrán las cargas que pasan por el punto D con respecto a las que pasen por el punto A?

Luego de este momento es posible definir la intensidad de corriente como la cantidad de cargas que circulan por segundo y diferenciarla de la diferencia potencial que se presenta como la diferencia de energía que tienen las cargas en dos puntos del circuito.

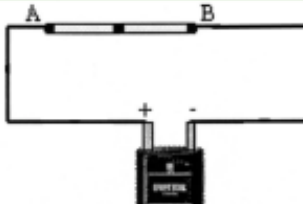
- b) Para lograr que los estudiantes no sólo aprendan axiomas sobre el comportamiento de los circuitos eléctricos con más de una resistencia (en serie y paralelo), sino que puedan comprender las causa del comportamiento de la intensidad de corriente y la diferencia de potencial en cada caso; se utiliza lo aprendido sobre la resistencia de un conductor en base al modelo de Drude. En la Fig. 5.17 se muestra un ejemplo de cómo se trabaja este contenido en la segunda implementación.

Actividad 1

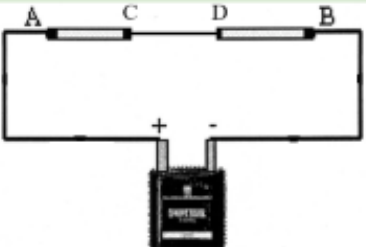
1) Tenemos una barra de metal A – B con resistencia, conectada a una batería por dos cables conductores de resistencia despreciable.
 ¿Hay alguna diferencia potencial entre los pares de puntos A y B? ¿Cómo se relaciona con la intensidad de corriente que atraviesa por la pila?



2) Tomamos una barra del mismo metal pero del doble de longitud como muestra la figura. ¿La resistencia de la barra de metal de este caso es igual, menor, o mayor a la del punto 2)? ¿Por qué? ¿La intensidad de corriente que atraviesa la pila es igual, mayor o menor que en el punto anterior?



3) Ahora esa misma barra de metal se divide en el medio, generando los segmentos A-C y D-B, que se conectan mediante un cable conductor como se muestra en la figura.



a) ¿La resistencia total de ambos trozos de la barra de metal es igual, menor, o mayor a la del punto 2)? ¿Por qué?

b) ¿La diferencia de potencial entre los puntos A y B de este caso tendrá la misma diferencia de potencial que en los puntos A y B del ejercicio anterior?

c) ¿La intensidad de corriente que atraviesa la pila será mayor menor o igual que en el punto anterior? ¿Por qué?

d) ¿La intensidad de corriente que pasa por la resistencia AC de las resistencias será mayor, menor o igual a la que atraviesa la pila? ¿Y en comparación a la que atraviesa la resistencia del tramo DB?

Figura 5.17: Actividad para abordar los circuitos en serie en la segunda implementación.

- c) El abordaje microscópico en base al modelo de Drude ofrece más herramientas a los estudiantes para comprender el funcionamiento de los circuitos reales. Es decir, facilitará el análisis de lo que ocurre con circuitos eléctricos en donde se considera la resistencia interna de la fuente y la resistencia asociada a los cables del circuito

4. a) Con la intención de que los estudiantes de profesorado puedan explicitar el proceso de aprendizaje que están experimentando, se agregan más instancias de análisis retrospectivos sobre las estrategias didácticas experimentadas. Inicialmente se destinó un momento al final de la cursada de la unidad para revisar el recorrido transitado para el aprendizaje. En la segunda implementación se realiza este análisis retrospectivo sobre el proceso de enseñanza cada 2 o 3 clases. Además, en cada una de las etapas de la secuencia se expone el diseño de las clases a los estudiantes.

Con la nueva versión de la SEA, durante el año 2023 se lleva adelante la segunda implementación. Los resultados de aprendizaje y las caracterizaciones de los CPC de los futuros docentes, de la cohorte 2023 (6 estudiantes), se muestran en la próxima sección del presente capítulo.

5.3. Resultados de la segunda implementación

5.3.1. Resultados sobre la Apropiación del contenido de los estudiantes participantes de la segunda implementación

Para la caracterización de la apropiación del contenido de los futuros docentes, se organizaron los resultados en torno a las ideas idiosincráticas y personales de los estudiantes del curso de FE. Se transcribieron extractos del discurso de los estudiantes, tanto de las clases como de la entrevista que se realizó al finalizar el curso, que permitieron reconocer la apropiación a través de los siguientes indicadores: sobre la idea idiosincrática (Marcador A), la coherencia entre esa idea y el canon de la física (Marcador B), la no incidentalidad (Marcador C), los aspectos metacognitivos de la idea (Marcador D) y el rol social de cada estudiante en base a la idea idiosincrática que lo caracteriza (Marcador E).

A continuación se exponen los resultados obtenidos de la caracterización de cada uno de los marcadores de apropiación para cada uno de los dos estudiantes del curso de Fenómenos Electromagnéticos pertenecientes a la cohorte 2023.

Carla: “El cerebro dividido en dos: la física matematizada y la física cualitativa”

Durante las clases, Carla percibe que la física tiene dos caras: una expresada por la matemática, por las fórmulas, y otra que puede expresarse mediante palabras en base al análisis cualitativo de los fenómenos. En ocasiones, Carla muestra

que para ella existe una tensión entre estos dos mundos. En una de las clases ella dice *“tengo el cerebro partido en dos, por un lado la física que aprendo en otras materias que es esto de hacer las cuentitas y por otro lado la física de esta materia que es más para pensar”* (Marcador A, idea idiosincrática). En distintas clases se registran expresiones de Carla en las que se contraponen estas dos maneras de abordar la física. Por ejemplo en una clase ella enuncia que se siente más cómoda con las resoluciones matematizadas de los problemas de física y que eso le ha servido para aprender algunas nociones de física. No obstante, reconoce que los análisis cualitativos son más convincentes para ella y le generan mejores aprendizajes aunque para ello deba realizar un esfuerzo que antes no acostumbraba a hacer. Estos ejemplos muestran que la idea idiosincrática es rastreable a lo largo de la cursada (Marcador C), es decir es no incidental.

Todas las intervenciones de Carla, tanto en la entrevistas como en las clases son coherentes con la física normativa. Ya sea que sus intervenciones provengan de análisis cualitativos o cuantitativos. En ocasiones advierte los límites de los modelos estudiados y genera preguntas que tensionan los modelos y la llevan a cuestionarse los rangos de validez de los mismos (Marcador B).

En relación a los aspectos metacognitivos ella reconoce la existencia de estos dos mundos físicos. Advierte la frustración inicial que le genera la integración pero es consciente de la satisfacción de lograrla (Marcador D).

Por último, se advierte que Carla toma distintas posturas a la hora de participar en la clase. Cuando ella reconoce que ha logrado la integración de la física cuantitativa con la cualitativa es una clara líder en el grupo clase. Cuando ella advierte que tiene disociados estos dos mundos, toma un rol más pasivo, de espera y escucha a lo que sus compañeros o el docente tienen para aportar (Marcador E).

A continuación, se muestran los niveles alcanzados por Carla para cada uno de los marcadores de apropiación.

	Marcador A	Marcador B	Marcador C	Marcador D	Marcador E
Carla	Logrado	Logrado	Logrado	Logrado	Logrado

Tabla 5.5: Caracterización de los marcadores de Apropiación para el caso de Carla

Guadalupe: “La física para ser enseñada”

Guadalupe a lo largo de la entrevista orientó muchas de sus respuestas a la enseñanza de la física. Utiliza frases como por ejemplo *“si yo tuviera que empezar a trabajar el contenido haría”, “los simuladores son buenos porque no siempre en las escuelas disponemos de los materiales”, “primero conviene ver el modelo macroscópico que es lo que estudiantes ven a simple vista y luego ir al microscópico”* entre otras (Marcador A). Estas frases enunciadas por Guadalupe colaboran para

visibilizar su idea idiosincrática.

Estas expresiones de Guadalupe no se restringen sólo al contexto de la entrevista, sino también son reconocibles a lo largo de la implementación de la secuencia. En muchas ocasiones, durante las clases, Guadalupe interviene haciendo aseveraciones que tienen que ver con la enseñanza de ese contenido (Marcador C). Estas intervenciones de la estudiante de profesorado siempre guardaron coherencia disciplinar con el contenido que se estaba trabajando (Marcador B).

Guadalupe puede reflexionar sobre los recursos utilizados para el aprendizaje de cada uno de los temas trabajados. Advierte cuáles de ellos son potencialmente mejores para su comprensión y la de sus futuros estudiantes. La futura docente es capaz de reconocer la importancia del abordaje del contenido desde múltiples modelos (Marcador D, aspectos metacognitivos).

Por último, Guadalupe ha participado principalmente en las clases virtuales. Esto hace que en un primer momento de la clase deba concentrarse en comprender la temática trabajada en las clases presenciales anteriores. Cuando esto lo ha logrado, ella toma un rol docente para con sus compañeros. Intentado guiarlos, haciendo preguntas o poniendo ejemplos para que alcancen la comprensión de algún tópico (Marcador E).

A continuación, se muestran los niveles alcanzados por Guadalupe para cada uno de los marcadores de apropiación.

	Marcador A	Marcador B	Marcador C	Marcador D	Marcador E
Guadalupe	Logrado	Logrado	Logrado	Logrado	Logrado

Tabla 5.6: Caracterización de los marcadores de Apropiación para el caso de Guadalupe

Juan: “El tecnicismo de la física pensado para la enseñanza”

A lo largo de las clases y de la entrevista Juan se caracteriza por utilizar expresiones orales con un alto nivel de tecnicismo. En reiteradas oportunidades se diferencia de sus compañeros por utilizar lenguaje más técnico como por ejemplo: mientras otros estudiantes hablaban de movimiento de cargas el utiliza la expresión “*flujo*” de cargas o “*movimiento libremente aleatorio*”, o para hablar de condiciones por las cuales puede variar la resistencia de un conductor se refiere a la sigla CNPT (condiciones naturales de presión y temperatura).

Paralelamente, Juan muestra interés en reflexionar sobre la enseñanza de la física, en ocasiones hace observaciones sobre la manera de presentar el contenido o sobre el diseño de las actividades, o consulta sobre cuál es el nivel de profundidad que deben alcanzar en la comprensión los estudiantes de secundaria (Marcador A y C, idea idiosincrática y no incidentalidad). Esto también se observa en la entrevista, ya que en reiteradas oportunidades expresa su preocupación por la comprensión de los estudiantes. Ambas características mencionadas (sobre

el tecnicismo en la física y la física para ser enseñada) forman una única idea idiosincrática que se relaciona con la tarea laboral que él actualmente desarrolla: Profesor de física en una escuela técnica. Juan pone en valor la precisión y tecnicismo del conocimiento, pero éste se vé atravesado por la demandas pedagógicas de sus estudiantes.

Todas las intervenciones de Juan, tanto en la entrevistas como en las clases son coherentes con la física normativa. Juan se caracteriza por realizar declaraciones sobre la enseñanza del contenido que son fieles al conocimiento canónico disciplinar con altos niveles de precisión semántica (Marcador B).

En consonancia con lo descrito anteriormente, Juan tanto en las clases como en la entrevista reflexiona sobre la física pensada para su enseñanza, ya sea en los recursos utilizados, la metodología o las consignas impartidas (Marcador D).

Por último, en relación al rol social que el estudiante de profesorado ocupa en la clase es posible notar que Juan se caracteriza por ser tímido y en general sus aportaciones en las discusiones grupales son breves y precisas. No obstante, en ocasiones se empodera y adquiere un rol docente frente a sus compañeros. Por ejemplo, al guiar la resolución de una actividad con un simulador, les realiza preguntas a sus compañeros incitando a la reflexión sobre los resultados obtenidos intentando apuntalar la comprensión de sus pares. Estas preguntas se caracterizan por tener un alto nivel de precisión y tecnicismo en su lenguaje (Marcador E).

A continuación, se muestran los niveles alcanzados por Juan para cada uno de los marcadores de apropiación

	Marcador A	Marcador B	Marcador C	Marcador D	Marcador E
Juan	Logrado	Logrado	Logrado	Logrado	Logrado

Tabla 5.7: Caracterización de los marcadores de Apropiación para el caso de Juan

Nora: “La física comprendida como relaciones matemáticas entre variables”

A lo largo de la entrevista Nora recurre en varias oportunidades a la “Ley de Ohm” para intentar diferenciar los conceptos de diferencia de potencial, intensidad de corriente eléctrica y potencia eléctrica. Durante la entrevista ella dice: “*la intensidad de corriente y la diferencia de potencial están relacionados con la Ley de Ohm, una se refiere a la cantidad de carga y otra a la fuerza que lleva*”. También cuando se le pregunta sobre las definiciones de resistencia opta en primera instancia por la que se refiere a una expresión matemática. En la entrevista ella dice “*prefiero entender a la resistencia como el resultado de la Ley de Ohm*” (Marcador A). A lo largo de las clases, las intervenciones de Nora, se caracterizan por ser descripciones de las relaciones matemáticas entre las variables. Una muestra de ello, ocurrió en el examen parcial en donde las actividades propuestas se caracterizaron por ser análisis de circuitos de tipo cualitativo. Ante esta situación,

Nora ofuscada, le comentó a una compañera a la salida del examen: “ ¡podés creer que todos los problemas eran para pensar, ninguno para calcular!”(Marcador C).

Todas las intervenciones de Nora a lo largo de las clases fueron coherentes con la física normativa. La asociación de las variables físicas por medio de las ecuaciones matemáticas que las relacionan le permiten a Nora mantenerse fielmente a la física canónica (Marcador B).

En relación al Marcador D, no fue posible reconocer cómo la idea idiosincrática le sirve a Nora para pensar aspectos epistemológicos y/o metacognitivos. Una hipótesis podría ser que para Nora los resultados matemáticos convalidan los aprendizajes, esto hace que ella considere al conocimiento en términos binomiales, correcto/incorrecto. Esto genera poco lugar para que ella exprese una construcción personal sobre qué significa para ella la física y sobre cuál imagen de la física tiene sentido para ella.

Por último, Nora se caracteriza por tomar el liderazgo en algunas discusiones, empoderada por la validación de sus conocimientos por los resultados matemáticos. Es un pilar para su compañero Damián, que frecuentemente busca resolver sus dudas consultando a ella, pues reconoce su autoridad académica (Marcador E).

	Marcador A	Marcador B	Marcador C	Marcador D	Marcador E
Nora	Logrado	Logrado	Logrado	Limitado	Logrado

Tabla 5.8: Caracterización de los marcadores de Apropiación para el caso de Nora

Federico: “La Física para ser enseñada como un proceso de lo simple a lo complejo”

A lo largo de la entrevista Federico describe los procesos físicos estudiados partiendo de los que él considera los más simples para ir a lo más complejo. Por ejemplo, cuando la entrevistadora le pregunta a Federico sobre la diferenciación de los conceptos de intensidad de corriente eléctrica y diferencia de potencial el estudiante dice: “*Primero comenzaría hablando de intensidad de corriente, iría de lo más simple a lo más complejo y bueno, plantearía el tema que tiene que ver la intensidad de corriente con la cantidad de electrones que circulan por unidad de tiempo en un determinado elemento del cable, con respecto a lo que es la intensidad de corriente. Después la diferencia de potencial es básicamente cuando existe como dice la palabra diferencia de potencia entre dos puntos*” (Marcador A).

Durante la entrevista, en dos oportunidades, Federico reflexiona sobre la física en términos de su enseñanza y recupera esta idea de lo más simple a lo más complejo (Marcador A). Por ejemplo, cuando se le pregunta a Federico sobre qué tipo de abordajes (cualitativo o matemático) prefiere o considera más importante

para comprender el concepto de resistencia eléctrica él dice: “*En realidad creo que a los dos abordajes le doy la misma importancia porque se va construyendo ese concepto, primero comienzas por algo más simple para llegar a lo más complejo ... no puedo categorizar como esto más importante que el otro*” (Marcador A).

Todas las aseveraciones de Federico guardan coherencia con la física canónica. Durante la entrevista el estudiante puede reconocer la importancia de los enfoques macroscópicos y microscópicos, además reconoce qué elementos o recursos usados en clases le permitieron a él, avanzar en este proceso de construcción del conocimiento de lo simple a lo complejo (Marcador D).

Por otro lado, Federico se caracteriza por ser una persona tímida e introspectiva. A lo largo de las clases, sus intervenciones ocurren sólo si el docente lo interpela. En reiteradas oportunidades se lo observa asintiendo con la cabeza cuando un compañero dice algo con lo que él está de acuerdo. Cuando discrepa con alguno, adopta una posición pasiva y de espera atenta. Cuando habla en clases, sus aportes se caracterizan por ser breves y ajustados estrictamente a lo que se consulta. Esto dificulta/imposibilita la caracterización del marcador incidental de la apropiación (Marcador C) y determinar el rol social que Federico adopta en clase (Marcador E).

A continuación, se muestran los niveles alcanzados por Federico para cada uno de los marcadores de apropiación.

	Marcador A	Marcador B	Marcador C	Marcador D	Marcador E
Federico	Logrado	Logrado	No detectado	Logrado	No detectado

Tabla 5.9: Caracterización de los marcadores de Apropiación para el caso de Federico

Damián: Idea Idiosincrática no observada - No Apropiación

La entrevista de Damián se caracterizó por tener una gran cantidad de respuestas cortas, un indicador de esto puede verse que de las aproximadamente 1500 palabras que tuvo la entrevista sólo el 17% corresponden a las respuestas del estudiante. Las breves respuestas del estudiante no guardan coherencia con la física canónica. Por ejemplo en un fragmento de la entrevista Damián dice : “*la intensidad de corriente es la energía de un circuito si es fuerte o débil*”. Además, en varios momentos de la entrevista, ante la imposibilidad de dar una respuesta acabada Damián prefiere admitir no recordar cuestiones vinculadas a los contenidos (Marcador B).

En algunas clases, a Damián le resulta de interés la aplicación de los contenidos trabajados en la asignatura en el contexto de las herramientas que utiliza en su trabajo, como por ejemplo: la soldadora. Sin embargo, no logra vincular los fenómenos trabajados con sus aplicaciones respetando las normas de la física.

Las breves respuestas del estudiante contribuyeron a la imposibilidad de que el

estudiante muestre algún análisis metacognitivo sobre su aprendizaje (Marcador D).

Damián no realiza intervenciones en las clases, salvo que el docente lo solicite. En reiteradas oportunidades a lo largo de la cursada Damián prefiere evitar exponer sus razonamientos o dudas, lo que imposibilita la caracterización del rol que ocupa en la clase (Marcador E). Además, sus compañeros no suelen consultarle, y sus pocos aportes no son considerados por el grupo clase.

Finalmente, al no detectar la idea idiosincrática que caracteriza el aprendizaje de Damián (Marcador A), no es posible caracterizar el resto de los marcadores.

	Marcador A	Marcador B	Marcador C	Marcador D	Marcador E
Damián	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado

Tabla 5.10: Caracterización de los marcadores de Apropiación para el caso de Damián

Comentario final sobre la apropiación del contenido de los estudiantes de la segunda implementación

Luego de analizar los marcadores de apropiación en cada uno de los estudiantes y a sabiendas que toda Secuencia de Enseñanza-Aprendizaje siempre tendrá aspectos a mejorar, es posible afirmar que los cambios introducidos en el diseño de la SEA fueron en la dirección acertada.

Adentrándonos en el análisis de las características de la apropiación de contenidos de los estudiantes del profesorado participantes de la segunda implementación, se observa que casi la mitad de ellos tuvieron ideas idiosincráticas relacionadas con la enseñanza de la física. Cada uno con sus matices personales, pero con una impronta docente. Además, al analizar el marcador D, sobre los aspectos metacognitivos que muestran el sentido que tiene la física para ellos, queda expuesta su preocupación por la enseñanza del contenido. Entendemos que esto tiene un importante valor para la formación de profesores, puesto que muestra cómo los estudiantes se relacionan con el objeto de enseñanza. Es decir, para estos estudiantes el sentido del aprendizaje del contenido es pensado para su enseñanza. Inferimos que este posicionamiento personal frente al contenido hará que los futuros docentes estén atentos no sólo a lo que aprenden sobre el contenido sino a los procesos de enseñanza-aprendizaje experimentados durante la cursada de una asignatura disciplinar.

Otro aspecto que emerge del análisis de los marcadores de apropiación refiere al rol social que los estudiantes adoptaron frente al grupo clase (marcador E). En este sentido, se observa que salvo en el caso de Federico y Damián, el resto de la clase tuvo oportunidades de posicionarse frente al grupo clase desde su

idea idiosincrática. Estos posicionamientos son una evidencia que la autoridad en la clase estaba más distribuida en la clase en comparación a lo ocurrido con la primera implementación. Esto podría atribuirse a múltiples razones como por ejemplo, que el docente estuvo más atento a la distribución de la palabra en los estudiantes, o que el mayor número de estudiantes en la clase haya permitido múltiples posicionamientos a diferencia de la primera implementación en donde las discusiones se daban entre sólo los dos estudiantes del curso.

En la segunda implementación un caso evidente de estudiante no autorizado es el de Damián, quien no sólo no se sentía autorizado para dar sus opiniones o ideas sobre los temas que se estaban discutiendo en clase, sino que sus compañeros contribuían a esto ignorando sus escasas participaciones. Esto llevaba a que Damián interviniera menos y poco a poco quedara relegado de la clase aunque el docente incentivara su participación.

Por último, creemos que es importante resaltar que el caso de Federico podría ser un caso de apropiación similar al de Carla, Juan o Guadalupe, sólo que por su personalidad introvertida no fue posible caracterizar los marcadores C y E. Estos marcadores sólo se pueden encontrar en lo ocurrido en las clases, y en ese contexto la timidez del estudiante actúa filtrando la información dificultando el acceso a los registros.

5.3.2. Sobre el CPC de los estudiantes participantes de la segunda implementación

Como se mencionó en la sección metodología, los estudiantes que cursaban la asignatura Fenómenos Electromagnéticos durante el año 2023, paralelamente cursaban el espacio curricular de Práctica Docente III. En este contexto, la docente de ese espacio curricular que colaboró con nuestra investigación, les solicitó a cada uno de ellos que elaboraran el diseño de dos clases sobre un subtópico del tema circuitos eléctricos. Estas planificaciones de clases fueron los registros que se consideraron para caracterizar el conocimiento pedagógico del contenido de estos futuros docentes. Como se adelantó en el capítulo 4, se consideraron 5 dimensiones del CPC en las cuales se analizaron 15 ítems que se presentan en el siguiente listado:

Conocimiento sobre el currículum

- Idoneidad de los conceptos en relación con el diseño curricular.

Conocimiento sobre la disciplina

- Correcta conceptualización de los contenidos.

- Vínculos y conexiones con otros conceptos.
- Vínculos con la Naturaleza de la Ciencia

Conocimiento sobre la comprensión de los estudiantes

- El docente reconoce posibles conocimientos previos de los estudiantes.
- El docente utiliza las ideas previas de los estudiantes para guiar la instrucción.
- El docente sondea la comprensión de los estudiantes con preguntas.

Conocimiento sobre la estrategias de instrucción

- Apropiaada secuenciación de los conceptos.
- Utilización Laboratorios/Simulaciones.
- Discurso en el aula propuesto.
- Cierre de la clase.
- Uso de estrategias que permitan la metacognición.

Conocimiento sobre la estrategias de evaluación

- Momento y finalidad de la evaluación.
- Tipo de instrumento utilizado para evaluar.

Caracterización del CPC de Carla

La secuencia de actividades diseñada por Carla aborda el tópico resistencia eléctrica. Tiene como objetivo que sus futuros estudiantes adviertan las variables que intervienen en la determinación de la resistencia eléctrica de un conductor. Esto se ajusta a los contenidos prescriptos por el diseño curricular jurisdiccional. Se observa en el momento de cierre de la secuencia una correcta conceptualización de los contenidos, y en las actividades se generan vínculos con otros contenidos como por ejemplo la Ley de Ohm. A continuación se muestra el cierre propuesto por Carla.

La secuencia de actividades diseñada por Carla aborda el tópico resistencia eléctrica. Tiene como objetivo que sus futuros estudiantes adviertan las variables que intervienen en la determinación de la resistencia eléctrica de un conductor. Esto se ajusta a los contenidos prescriptos por el diseño curricular jurisdiccional. Se observa en el momento de cierre de la secuencia una correcta conceptualización de los contenidos, y en las actividades se generan vínculos con otros contenidos

La Resistencia Eléctrica depende del material por el cual está formado (resistividad), del largo y de la sección del mismo. La relación entre las variables intervinientes en el valor de Resistencia de un material es:

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A}$$

Donde ρ es la resistividad del material que se mide en Ohm.m, L es el largo del objeto medido en m y A es el área o sección del material.

En el siguiente simulador podremos visualizar esta relación

https://phet.colorado.edu/sims/html/resistance-in-a-wire/latest/resistance-in-a-wire_es.htm

!

Figura 5.18: Explicación presentada por Carla para cerrar la clase.

como por ejemplo la Ley de Ohm. A continuación se muestra el cierre propuesto por Carla (Fig. 5.18).

En la propuesta de Carla se evidencia que trabaja desde las preconcepciones de los estudiantes. Por ejemplo en la actividad que se muestra en la Fig. 5.19 se observa cómo intenta tensionar algunas ideas previas a partir de una actividad experimental.

Como se observa en la actividad se prevé que el intercambio entre los estudiantes sea una instancia de evaluación sobre el progreso de las ideas previas de los alumnos. Además se prevé una actividad de evaluación al cierre de las clases. Si bien se trabaja un sólo tópico en la propuesta de Carla, en la introducción de su secuencia enuncia en qué momento de una unidad didáctica mayor deberían incorporarse estas clases. Además se visibiliza un vínculo entre las actividades. Esto da cuenta de una correcta secuenciación de los contenidos.

No se registran actividades que apunten a trabajar la Naturaleza de la Ciencia, ni aspectos metacognitivos en los estudiantes.

La problematización propuesta consiste en un laboratorio que no tiene relevancia para los estudiantes y está alejado de su cotidiano. Como se observa en la actividad expuesta, el laboratorio también es usado para tensionar las ideas previas de los estudiantes lo que muestra un uso adecuado del mismo.

En la propuesta de Carla prevalece un discurso dialógico, en donde se prevé que las voces de los estudiantes sean escuchadas. Se fomenta el debate entre los estudiantes y la futura docente prevé recuperar las conclusiones de los debates para formalizarlas en el cierre de la clase.

CPC Indicador	Carla
Conocimiento sobre el currículum	

Idoneidad de los conceptos en relación con el diseño curricular	Competente
Conocimiento sobre el contenido	
Correcta conceptualización	Competente
Vínculos y conexiones con otros conceptos	Competente
Vínculos con la Naturaleza de la Ciencia	Nulo
Conocimiento sobre la comprensión de los estudiantes	
El docente reconoce posibles conocimientos previos de los estudiantes	Competente
El docente utiliza las ideas previas de los estudiantes para guiar la instrucción	Competente
El docente sondea la comprensión de los estudiantes con preguntas	Competente
Conocimiento sobre la estrategias de instrucción	
Apropiada secuenciación de los conceptos	Competente
Problematización del contenido	Insuficiente
Utilización Laboratorios/Simulaciones	Competente
Discurso en el aula propuesto	Competente
Cierre de la clase	Competente
Uso de estrategias que permitan la metacognición	Nulo
Conocimiento sobre la estrategias de evaluación	
Momento y finalidad de evaluación del progreso de los estudiantes	Competente
Tipo de evaluación	Competente

Tabla 5.11: Caracterización del CPC de Carla.

Caracterización del CPC de Guadalupe

Las clases diseñadas por Guadalupe abordan el tópico circuitos en serie y en paralelo. Se reconoce una actividad problematizadora en donde presenta conexiones posibles para un árbol de navidad y para una zapatilla eléctrica. Posteriormente se reconoce en el diseño, instancia para que los estudiantes expliciten sus ideas previas y las contrastan con los resultados de una actividad experimental. En la Fig. 5.20, se muestra cómo Guadalupe prevé trabajar con las ideas de los estudiantes.

Como se observa en la actividad de la Fig. 5.20, a lo largo de la propuesta de Guadalupe prevalece la intención de fomentar un discurso dialógico en donde las ideas de los estudiantes sean tenidas en cuenta.

Tanto en el cierre de la clase como en las actividades se observa una con-

Actividades para tensionar y experimentar

Para poder comprobar sus hipótesis, se les presenta a los estudiantes una actividad experimental. Se les brindará cable de cobre, papel aluminio, pila, un led, alicate y un amperímetro por cada grupo.

Con estos materiales deberán comparar la resistencia de los cables analizando las variables grosor en el caso del papel aluminio y largo utilizando el cable de cobre. Luego deberán anotar lo que concluyeron en sus carpetas.

Con los materiales entregados, deberán responder las preguntas 2, 3 y 4 de la actividad anterior con las conclusiones que obtengan a través de la experimentación. Deberán trabajar con el grupo que ya formaron. Luego se compartirá a la clase las conclusiones.

Ya que los estudiantes no tienen indicaciones sobre cómo proceder, es importante que el profesor pase por cada grupo de trabajo para ver los avances, si surgen dudas y si necesitan alguna orientación, etc.

Al compartir las conclusiones se crea nuevamente un espacio para discutir y argumentar posturas. También sirve como momento de evaluación sobre el trabajo realizado y la comprensión del concepto.

Actividad anterior

2 - ¿Todos los metales conducen la corriente con la misma intensidad?

3 - Si tengo cables del mismo material pero distinto largo ¿Cuál usarías? ¿Influye si uno es más largo que otro al momento de conducir electricidad? ¿Por qué?

4 - Ahora tengo dos cables del mismo material, pero distinto grosor ¿Cuál usarías? ¿Influye si uno es más grueso que otro al momento de conducir la electricidad? ¿Por qué?

Figura 5.19: Actividad experimental propuesta por Carla para tensionar los modelos alternativos de los estudiantes.

ceptualización adecuada de los contenidos y se establecen conexiones con otros conceptos trabajados previamente.

No se registran actividades que apunten a trabajar la Naturaleza de la Ciencia, ni aspectos metacognitivos en los estudiantes. Pero si se registran distintas instancias para monitorear el progreso de las ideas de los estudiantes. Por ejemplo, hacia el final de la primer clase se presenta una actividad evaluativa (Fig. 5.21).

También la secuencia presenta instancias evaluativas finales que consisten en la resolución de problemas cerrados, que se resuelven mediante un cálculo algorítmico. por último, es posible decir que la propuesta diseñada por Guadalupe se ajusta a los contenidos prescritos por el diseño curricular jurisdiccional.

CPC Indicador	Guadalupe
Conocimiento sobre el currículum	
Idoneidad de los conceptos en relación con el diseño curricular	Competente
Conocimiento sobre el contenido	
Correcta conceptualización	Competente
Vínculos y conexiones con otros conceptos	Competente
Vínculos con la Naturaleza de la Ciencia	Nulo
Conocimiento sobre la comprensión de los estudiantes	
El docente reconoce posibles conocimientos previos de los estudiantes	Competente
El docente utiliza las ideas previas de los estudiantes para guiar la instrucción	Competente
El docente sondea la comprensión de los estudiantes con preguntas	Competente
Conocimiento sobre la estrategias de instrucción	
Apropiada secuenciación de los conceptos	Competente
Problematización del contenido	Competente
Utilización Laboratorios/Simulaciones	Competente
Discurso en el aula propuesto	Competente
Cierre de la clase	Competente
Uso de estrategias que permitan la metacognición	Nulo
Conocimiento sobre la estrategias de evaluación	
Momento y finalidad de evaluación del progreso de los estudiantes	Competente
Tipo de evaluación	Competente

Tabla 5.12: Caracterización del CPC de Guadalupe.

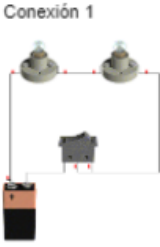
Caracterización del CPC de Juan

La secuencia de actividades presentadas en la clase de Juan apuntan a trabajar los elementos necesarios para la confirmación de un circuito cerrado, y la diferenciación entre las magnitudes de intensidad de corriente y diferencia de potencial eléctrico.

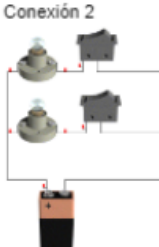
La propuesta se ajusta a los contenidos prescritos por el diseño curricular jurisdiccional. La misma comienza con la problematización del contenido que pretende recabar y tensionar las ideas previas de los estudiantes. Se propone una actividad lúdica en base a una supuesta intervención quirúrgica de un paciente.

La docente trae al curso dos tipos circuitos formado por dos lámparas idénticas cada uno como se muestran en la figura, y les entrega a los estudiantes las siguientes preguntas

Conexión 1



Conexión 2



a- ¿La diferencia de voltaje antes y después de cada lámpara (tramo de resistencia) será la misma?
 b- ¿Las corrientes que circulan por cada lámpara y al llegar a la fuente son iguales?
 c- ¿Qué relación existe entre las corrientes que circulan por la pila y por las lámparas de la conexión 2?
 d- ¿Brillarán todas de la misma manera, teniendo en cuenta que el brillo está relacionado con la potencia disipada en cada lámpara?
 2- Construyan cada uno de los circuitos, registren los valores necesarios para responder a las preguntas del punto 1 y comparen con las conclusiones obtenidas anteriormente.

Figura 5.20: Actividad experimental propuesta por Guadalupe para trabajar con los modelos alternativos de los estudiantes.

1) Indique su acuerdo o desacuerdo con la siguiente afirmación

“Si en un circuito se aumenta la cantidad de resistencias que lo conforman, siempre aumenta la resistencia total y por ello la intensidad de corriente que atraviesa la fuente decrece”

Figura 5.21: Actividad propuesta por Guadalupe para monitorear el progreso de las ideas de los estudiantes.

Al operar al paciente, si accidentalmente se toca al paciente, se enciende una luz de alarma (Fig. 5.22).

En la propuesta de clase de Juan se observan distintas instancias evaluativas para monitorear el progreso de las ideas previas trabajadas. Las actividades evaluativas se caracterizan por ofrecer a los estudiantes la oportunidad de expresar sus ideas y, a partir de ellas, analizar cualitativamente los problemas planteados (Fig. 5.23).

En base a las actividades planteadas por Juan y a los momentos autoritativos de cierre, es posible afirmar que se realiza una correcta conceptualización de los contenidos y se realizan conexiones con otros conceptos como por ejemplo, el de potencia.

En la secuencia diseñada por el estudiante de profesorado, se utilizan tanto actividades de laboratorio real como simuladores informáticos no sólo para

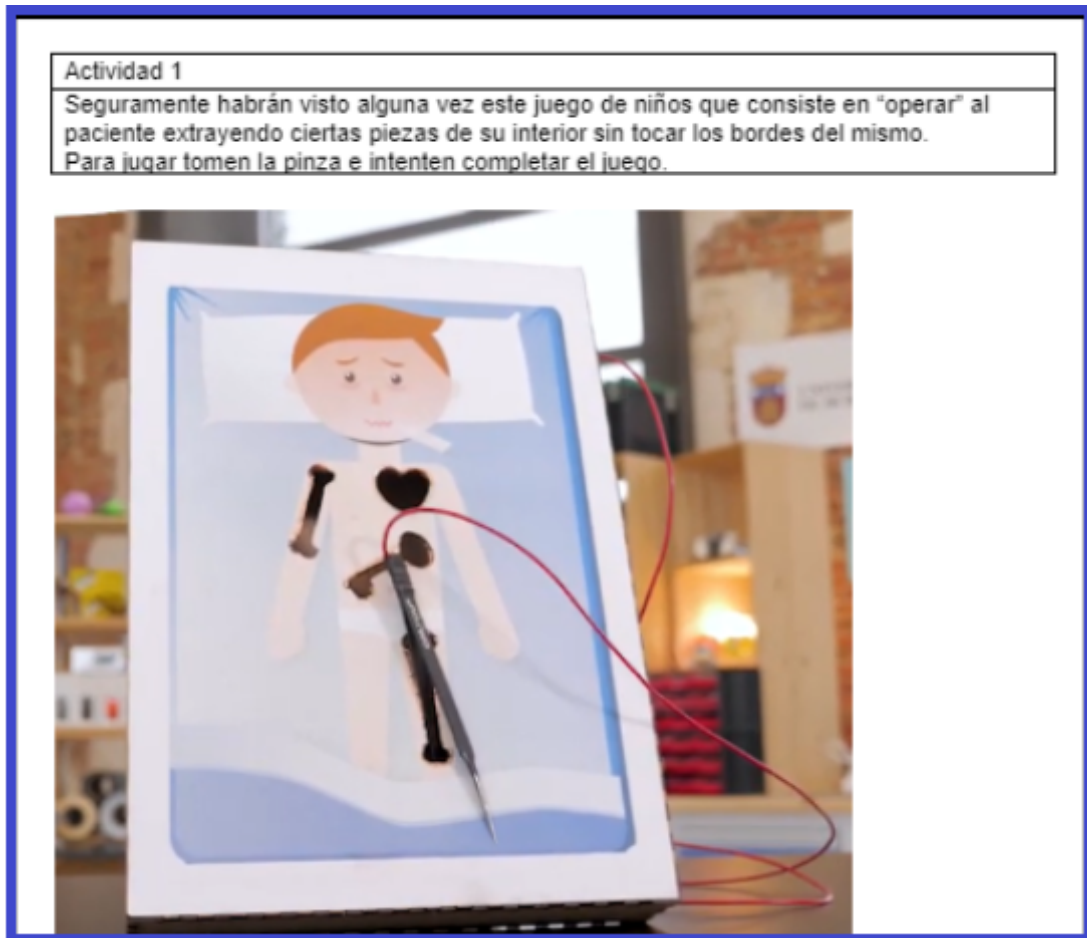


Figura 5.22: Actividad propuesta por Juan para problematizar y trabajar con las ideas previas de los estudiantes.

corroborar teoría, sino como recurso para hacer progresar las ideas previas de los estudiantes. También se reconoce que la propuesta promueve interacciones dialógicas en el aula, fomentando la participación de los estudiantes.

El orden en el cual se prevé el recorrido de los contenidos es el apropiado, ya que comienza con la construcción de la idea de los componentes necesarios para formar un circuito simple. Una vez logrado esto, avanza con la diferenciación de los conceptos de intensidad de corriente y diferencia de potencial eléctrico.

No se registran actividades que apunten a trabajar la Naturaleza de la Ciencia, ni aspectos metacognitivos en los estudiantes.

CPC Indicador	Juan
Conocimiento sobre el currículum	
Idoneidad de los conceptos en relación con el diseño curricular	Competente

Conocimiento sobre el contenido	
Correcta conceptualización	Competente
Vínculos y conexiones con otros conceptos	Competente
Vínculos con la Naturaleza de la Ciencia	Nulo
Conocimiento sobre la comprensión de los estudiantes	
El docente reconoce posibles conocimientos previos de los estudiantes	Competente
El docente utiliza las ideas previas de los estudiantes para guiar la instrucción	Competente
El docente sondea la comprensión de los estudiantes con preguntas	Competente
Conocimiento sobre la estrategias de instrucción	
Apropiada secuenciación de los conceptos	Competente
Problematización del contenido	Competente
Utilización Laboratorios/Simulaciones	Competente
Discurso en el aula propuesto	Competente
Cierre de la clase	Competente
Uso de estrategias que permitan la metacognición	Nulo
Conocimiento sobre la estrategias de evaluación	
Momento y finalidad de evaluación del progreso de los estudiantes	Competente
Tipo de evaluación	Competente

Tabla 5.13: Caracterización del CPC de Juan.

Comentario sobre las caracterizaciones del CPC de Carla, Guadalupe y Juan

Los CPC de Carla, Guadalupe y Juan se caracterizan por alcanzar niveles satisfactorios en la mayoría de los ítems analizados. Los tres estudiantes elaboraron propuestas en donde las ideas previas de los estudiantes no sólo eran relevadas sino que se utilizaban para guiar la instrucción. En consonancia con lo valorado sobre la apropiación del conocimiento, los tres estudiantes de profesorado muestran un nivel competente o avanzado en relación al conocimiento del contenido y a las posibles conexiones que se pueden establecer entre el contenido abordado en la propuesta y otros conceptos. En ninguna de los tres diseños elaborados por los futuros docentes se observa vinculación explícita con la Naturaleza de la Ciencia.

Otro dato relevante es que en las tres propuestas se visualiza un conocimiento avanzado o competente sobre las estrategias de instrucción. Sólo se ha caracteri-

Actividad 5	
a.	En grupo de a dos estudiantes preferentemente debatir las siguientes preguntas, registren sus respuestas en sus cuadernos:
b.	Es posible encender una lampara con un solo cable. ¿Por qué?
c.	Por qué sucede que en el segundo circuito armado en la actividad 4 la lampara brilla más que en el primer caso?

Nota para el docente: Con la primera pregunta buscamos ver si aún persiste el modelo de circuito monopolar o alguna idea no compatible con el modelo de circuito deseado. Por parte de la pregunta segunda buscamos dirigir a los estudiantes a pensar en términos de energía

Figura 5.23: Actividad propuesta por Juan para evaluar el progreso de las ideas previas de los estudiantes.

zado como nulo al uso de estrategias que permitan la metacognición de sus futuros estudiantes.

También, en las tres propuestas se visualiza un conocimiento adecuado sobre las estrategias de evaluación. En las tres propuestas se generan instancias para valorar el progreso de las ideas previas de los estudiantes a lo largo de la clase.

Finalmente, otro punto en común entre los diseños es que todos se ajustan a los contenidos prescriptos por el diseño curricular jurisdiccional.

Hemos decidido mostrar en este punto estas tres caracterizaciones del CPC, dado que corresponden a estudiantes que obtuvieron el máximo nivel en cada uno de los marcadores de apropiación. A continuación se exponen tres gráficos que muestran de manera general los niveles alcanzados de los 15 componentes del CPC analizados en cada una de las propuestas correspondientes a Carla, Guadalupe y Juan.

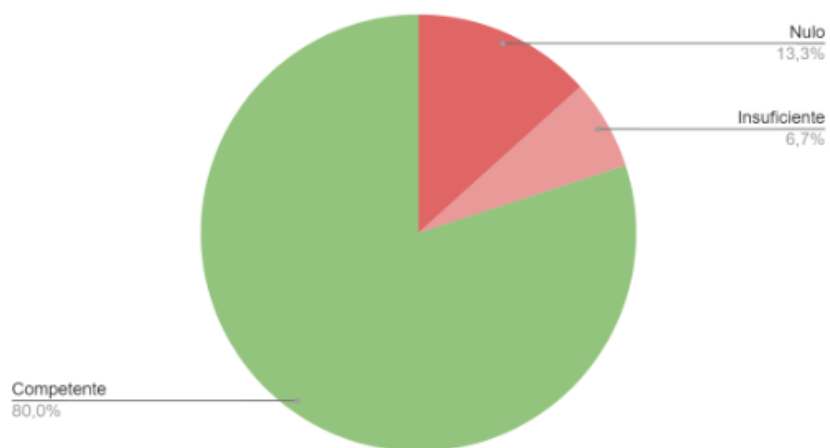


Figura 5.24: CPC de Carla.

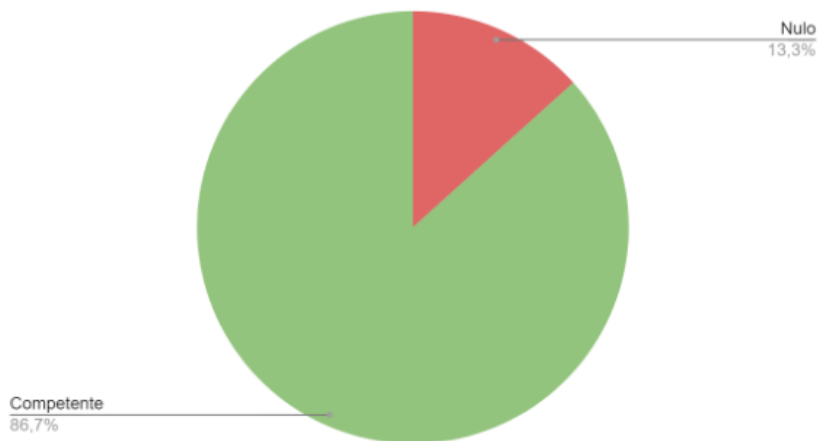


Figura 5.25: CPC de Guadalupe.

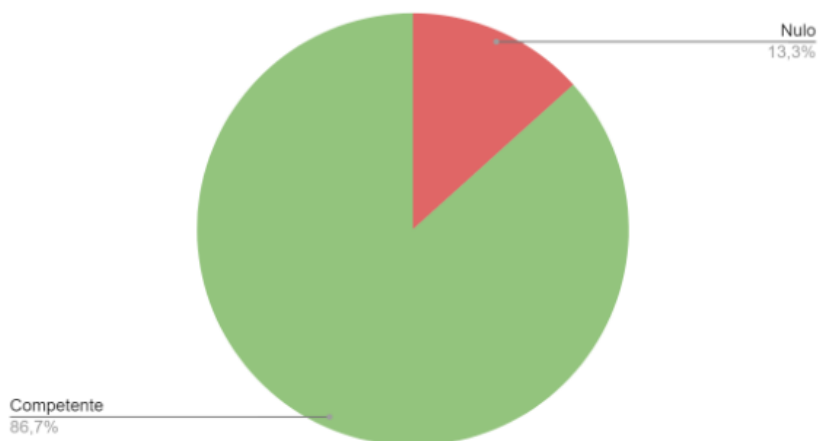


Figura 5.26: CPC de Juan.

Caracterización del CPC de Nora

La secuencia de actividades presentada por Nora corresponde al tópico resistencia eléctrica. La propuesta se ajusta a los contenidos propuestos por el diseño curricular.

La clase comienza con una problematización del contenido a partir de una experiencia imaginaria. A partir de esta actividad, se pretende generar preguntas a los estudiantes para recabar sus ideas previas. Las preguntas realizadas son reiterativas y no brindan oportunidad para que los estudiantes se cuestionen de antemano si el tipo de material de la lámpara es un punto importante en relación al brillo (Fig. 5.27). Es por ello, que el ítem vinculado al relevamiento de las preconcepciones de los estudiantes se considera “insuficiente”. La Fig. 5.27 muestra la actividad presentada por Nora para problematizar el contenido y recabar las ideas previas de los estudiantes.

ACTIVIDAD PARA RECABAR Y TENSIONAR LAS IDEAS PREVIAS:

Se les propone a los estudiantes la siguiente situación problematizadora que pretende recabar las ideas previas de los estudiantes.

Imagina que tienes dos alambres de diferentes materiales, uno de cobre y otro de hierro, y los conectas en un circuito eléctrico con una batería y una lámpara. Observas que la lámpara brilla más intensamente cuando utilizas el alambre de cobre que cuando utilizas el alambre de hierro.

Pregunta a los estudiantes las siguientes preguntas:

1. ¿Por qué crees que la lámpara brilla más intensamente cuando se utiliza el alambre de cobre en lugar del alambre de hierro?
2. ¿Qué crees que podría estar causando esta diferencia en el brillo de la lámpara?
3. ¿Cómo crees que se relaciona esto con las propiedades de los materiales utilizados?
4. ¿Cuáles podrían ser las características de cada material que influyen en el brillo de la lámpara?
5. ¿Qué factores crees que podrían afectar la resistencia eléctrica de los alambres en este caso?

Figura 5.27: Actividad propuesta por Nora para trabajar con las ideas previas de los estudiantes.

Luego del relevamiento de las ideas previas, se realiza una serie de experiencias demostrativas para evidenciar la dependencia de la resistencia de un material con su longitud, su sección y su conductividad. Para realizar estas experiencias se establecen algunos vínculos con contenidos trabajados previamente.

En la propuesta elaborada por Nora no se generan instancias para trabajar con las ideas previas relevadas en las primeras actividades. Por otro lado, en base a los resultados de la experiencia, se generan conclusiones que son retomadas en el cierre de la clase. En dicho cierre Nora presenta en su diseño una correcta conceptualización del contenido. En las secuencias de actividades, no se generan

instancias para trabajar con las ideas previas relevadas en las primeras actividades. Tampoco se registran actividades que apunten a trabajar la Naturaleza de la Ciencia, ni aspectos metacognitivos en los estudiantes.

La propuesta de Nora presenta el abordaje de todas las variables de las que depende la resistencia eléctrica de un conductor de manera simultánea. Esta secuenciación de contenido no es adecuada para facilitar la comprensión de los estudiantes, es por ello que se clasificó como insuficiente el ítem correspondiente a la secuenciación de contenidos.

La evaluación que propone Nora en su diseño, está ubicada al final de la secuencia y consiste en la realización de un laboratorio para validar la teoría y el progreso de las ideas de los estudiantes.

Finalmente, en el diseño de clase presentado por Nora se visualiza la intención de promover la participación de los estudiantes mediante un discurso del tipo dialógico. Es por ello que este ítem se lo ha categorizado como competente.

CPC Indicador	Nora
Conocimiento sobre el currículum	
Idoneidad de los conceptos en relación con el diseño curricular	Competente
Conocimiento sobre el contenido	
Correcta conceptualización	Competente
Vínculos y conexiones con otros conceptos	Insuficiente
Vínculos con la Naturaleza de la Ciencia	Nulo
Conocimiento sobre la comprensión de los estudiantes	
El docente reconoce posibles conocimientos previos de los estudiantes	Competente
El docente utiliza las ideas previas de los estudiantes para guiar la instrucción	Nulo
El docente sondea la comprensión de los estudiantes con preguntas	Insuficiente
Conocimiento sobre la estrategias de instrucción	
Apropiada secuenciación de los conceptos	Insuficiente
Problematización del contenido	Competente
Utilización Laboratorios/Simulaciones	Insuficiente
Discurso en el aula propuesto	Competente
Cierre de la clase	Competente
Uso de estrategias que permitan la metacognición	Nulo
Conocimiento sobre la estrategias de evaluación	

Momento y finalidad de evaluación del progreso de los estudiantes	Competente
Tipo de evaluación	Insuficiente

Tabla 5.14: Caracterización del CPC de Nora.

Caracterización del CPC de Federico

La propuesta de clases diseñada por Federico aborda el tópico Efecto Joule. La misma se ajusta a los contenidos previstos por el diseño curricular jurisdiccional.

Tanto en las actividades como en los momentos de cierre de las clases se visualiza una correcta conceptualización de los contenidos, y se registran vínculos con contenidos trabajados previamente.

La secuencia de actividades comienza con la problematización del contenido en base a una situación problemática (Fig. 5.28).

Actividad n° 1 Situación problematizadora

Tenemos un recipiente con una capacidad determinada lleno de agua el cual deseamos calentar hasta los 90 grados para que Juan pueda bañarse con agua caliente. Se encuentra en una zona apartada sin electricidad. Pero cuenta con una batería de 48v y dos resistencias para calentar agua de 5 y 10 ohm respectivamente. Y tiene 2 cables uno de 0.5mm² y otro de 2.5 mm² de sección. ¿Cómo crees que podrá calentar con mayor rapidez el agua? ¿Qué componentes serán necesarios para calentarlo más rápidamente y eficientemente? ¿Por qué crees eso?

Figura 5.28: Actividad propuesta por Federico para problematizar el contenido.

Si bien las preguntas para recabar las preconcepciones de los estudiantes son mejorables, se visualiza la intención de Federico de relevar las ideas previas en base al análisis de una situación concreta. Se observa que Federico propone la siguiente actividad en base a un simulador para tensionar esas ideas previas de los estudiantes (Fig. 5.29).

Ingresar al simulador phet. <http://www.educaplus.org/game/ley-de-joule>

1. Con $R_p=0$ ¿En que tiempo se calentara el agua a 90° con la resistencia que se encuentra en el recipiente valuada 2ohm? ¿qué ocurrirá si se aumenta el doble esa resistencia con el tiempo para calentar el agua del recipiente? Corroborar tu respuesta con el simulador.
2. Con $R_p=50$ En que tiempo se calentara el agua a 90° con la resistencia que se encuentra en el recipiente valuada 2ohm? ¿qué ocurrirá si se aumenta el doble esa resistencia con el tiempo para calentar el agua del recipiente? Corroborar tu respuesta con el simulador.
3. ¿Es conveniente que el conductor que se encuentra por fuera tenga mayor resistividad o menor? ¿Por qué?

Figura 5.29: Actividad propuesta por Federico para tensionar los modelos alternativos de los estudiantes en base a un simulador.

A lo largo de la propuesta diseñada por Federico, que también se observa en el diseño de clase, se reconocen actividades para evaluar el progreso de las preconcepciones de los estudiantes. En la Fig. 5.30 se muestra la actividad propuesta

para diseñar un cortador de telgopor, en donde los estudiantes deben reflexionar sobre cómo construirlo para que su funcionamiento sea más eficiente.

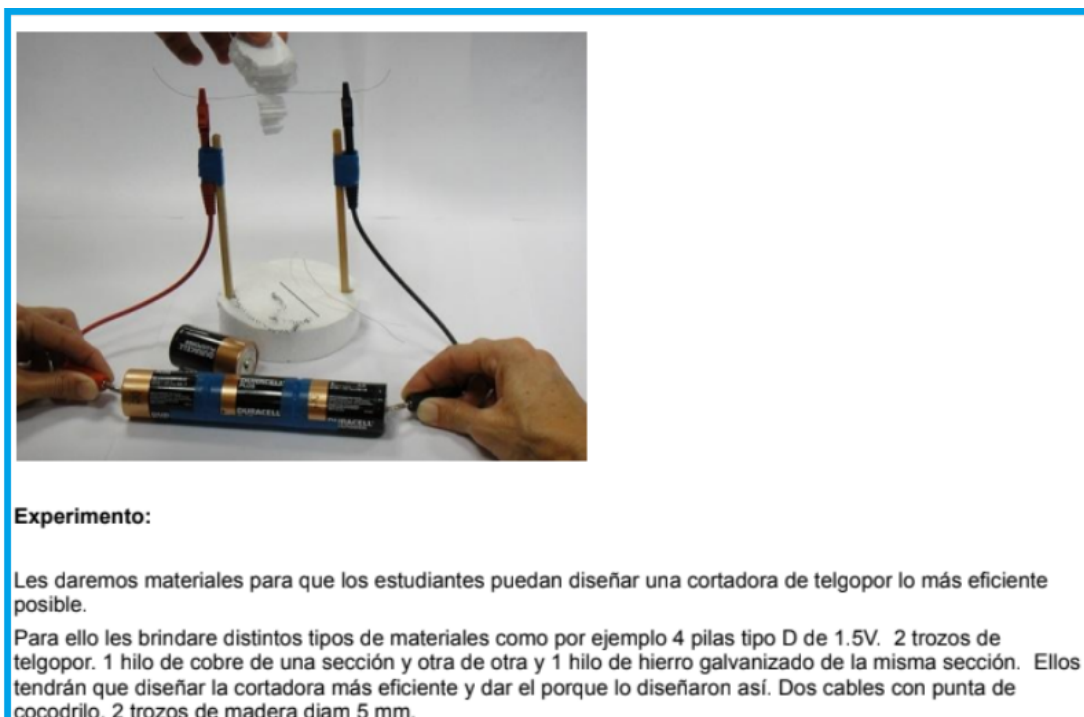


Figura 5.30: Actividad propuesta por Federico para evaluar el progreso de las ideas de los estudiantes.

Por lo descrito hasta aquí, es posible decir que Federico muestra un conocimiento competente sobre la manera en la que comprenden los estudiantes.

En relación a la estrategias de instrucción que se visualizan en la propuesta de Federico se observa una secuenciación de los contenido inapropiada, puesto que trabaja de manera simultánea todas las variables intervinientes en la determinación del efecto Joule. Por otro lado, se observa una problematización del contenido, un adecuado uso de la actividad experimental y del simulador. Debido a la intención de trabajar con las ideas de los estudiantes se promueve un discurso del tipo dialógico. Se observa que las conclusiones que los estudiantes producirán en las instancias de laboratorio guardan relación con el cierre de la clase.

Como se mencionó anteriormente, Federico monitorea con evaluaciones formativas el progreso de las ideas de los estudiantes a lo largo de las clases diseñadas.

CPC Indicador	Federico
Conocimiento sobre el currículum	
Idoneidad de los conceptos en relación con el diseño curricular	Competente

Conocimiento sobre el contenido	
Correcta conceptualización	Competente
Vínculos y conexiones con otros conceptos	Competente
Vínculos con la Naturaleza de la Ciencia	Nulo
Conocimiento sobre la comprensión de los estudiantes	
El docente reconoce posibles conocimientos previos de los estudiantes	Competente
El docente utiliza las ideas previas de los estudiantes para guiar la instrucción	Competente
El docente sondea la comprensión de los estudiantes con preguntas	Competente
Conocimiento sobre la estrategias de instrucción	
Apropiada secuenciación de los conceptos	Insuficiente
Problematización del contenido	Competente
Utilización Laboratorios/Simulaciones	Competente
Discurso en el aula propuesto	Competente
Cierre de la clase	Competente
Uso de estrategias que permitan la metacognición	Nulo
Conocimiento sobre la estrategias de evaluación	
Momento y finalidad de evaluación del progreso de los estudiantes	Competente
Tipo de evaluación	Competente

Tabla 5.15: Caracterización del CPC de Federico.

Comentario sobre las caracterizaciones del CPC de Nora y Federico

Tanto Nora como Federico, cuando se analizó la apropiación presentaron algunos marcadores caracterizados como limitados o no detectados. En el caso de Nora, el marcador metacognitivo de la apropiación se caracterizó como limitado a diferencia de Juan, Carla y Guadalupe que alcanzaron la caracterización de logrado para todos los marcadores de apropiación.

La propuesta de clase diseñada por Nora muestra niveles de conocimientos insuficientes o nulos sobre la manera en la que comprenden los estudiantes. Mientras que muestra niveles competentes vinculados al conocimiento sobre las estrategias de evaluación y sobre el currículum. En relación al conocimiento sobre las estrategias de instrucción, se observa un uso insuficiente de los laboratorios y una secuenciación de los contenidos mejorable. No se aprecian instancias para trabajar aspectos metacognitivos con sus futuros estudiantes. En el resto de los compo-

nentes referidos al conocimiento sobre las estrategias de instrucción el CPC de Nora alcanza niveles categorizados como competente.

Por último, el conocimiento sobre la disciplina que Nora evidencia a través de las clases diseñadas, logra niveles competentes en la conceptualización de los contenidos pero insuficiente en lo que refiere a las conexiones con otros conceptos. En la propuesta de Nora no se registraron actividades que apunten a trabajar la Naturaleza de la Ciencia. Algo similar con la caracterización de este último punto lo comparte con la propuesta diseñada por Federico. Sin embargo, en líneas generales el CPC mostrado por Federico a través de su diseño, alcanza niveles de competente en más ítems. Por ejemplo, en las clases planificadas por Federico ponen en evidencia que él valoriza las ideas previas de los estudiantes en el desarrollo de los contenidos. Además, se generan instancias para ir monitoreando su progreso. También se visualiza una correcta problematización de los contenidos y un uso apropiado de los laboratorios.

Como lo ocurrido con la propuesta de Nora, en el diseño de Federico no se registran actividades para trabajar la Naturaleza de la Ciencias y la secuenciación de los contenidos es mejorable. Este punto es coincidente con todas las producciones de cada uno de los estudiantes analizadas hasta aquí.

Por otro lado, en ambos diseños se observan niveles competentes vinculados al conocimiento sobre las estrategias de evaluación y sobre el currículum.

A continuación se exponen dos gráficos que muestran de manera general los niveles alcanzados de los 15 componentes del CPC analizados en cada una de las propuestas correspondientes a Nora y Federico:

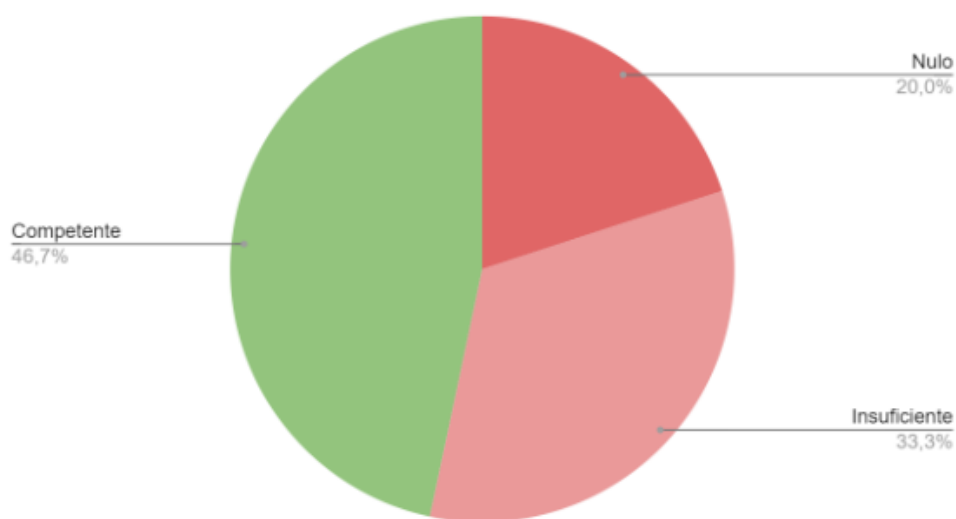


Figura 5.31: CPC de Nora.

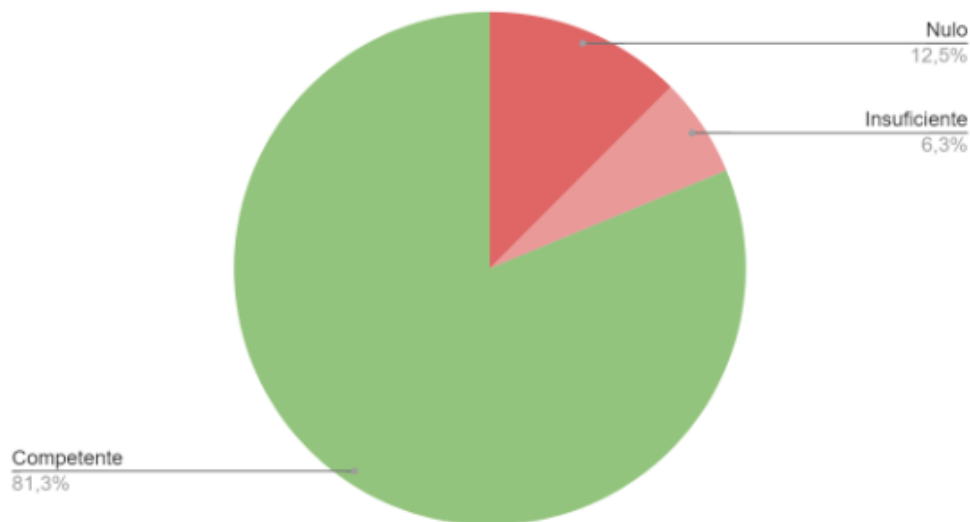


Figura 5.32: CPC de Federico.

Caracterización del CPC de Damián

La propuesta elaborada por Damián corresponde al tópico Ley de Ohm. Se observa que la propuesta se ajusta a los contenidos propuestos por el diseño curricular jurisdiccional. La SEA presentada por Damián expone inicialmente el contenido que explicará el docente. Comienza la clase con un momento autoritativo en dónde el docente explica el contenido (Fig. 5.33).

1. La corriente eléctrica (I) que fluye por un conductor es directamente proporcional a la tensión (V) aplicada en el circuito.
2. La corriente eléctrica es inversamente proporcional a la resistencia (R) del circuito.
3. La relación matemática que expresa esta ley es: $I = V/R$, donde I es la corriente en amperios (A), V es la tensión en voltios (V) y R es la resistencia en ohmios (Ω).

En otras palabras, la ley de Ohm indica que la corriente eléctrica en un circuito es igual a la tensión aplicada dividida por la resistencia del circuito.

La ley de Ohm es fundamental en el análisis y diseño de circuitos eléctricos, ya que permite predecir y controlar el flujo de corriente en función de la tensión y la resistencia. Es una herramienta esencial para comprender cómo funcionan los circuitos eléctricos y cómo se comportan los componentes eléctricos en un sistema.

Figura 5.33: Explicación propuesta por Damián para dar inicio a su clase.

Esto podría considerarse una muestra de que Damián genera una correcta conceptualización de los contenidos. Sin embargo, la actividad inmediatamente siguiente no guarda relación estrecha con esta conceptualización (Fig. 5.34).

En algunas de las actividades planteadas no reflejan que Damián tenga un conocimiento acabado sobre la Ley de Ohm, como la que se muestra al finalizar este párrafo (Fig. 5.35). En esa actividad pareciera que Damián atribuye la causa

“Imagina que tienes un circuito eléctrico simple compuesto por una batería, un conductor (un alambre) y una lámpara. La lámpara se enciende cuando está conectada correctamente al circuito”.

Plantea a los estudiantes las siguientes preguntas:

¿Qué creen que sucede en el circuito para que la lámpara se encienda?

¿Cómo creen que la corriente eléctrica fluye en el circuito?

Figura 5.34: Actividad inicial propuesta por Damián.

de que la lámpara se encienda al efecto Joule en los cables del circuito. Además, en ningún momento los estudiantes diferencian las magnitudes de intensidad de corriente y de diferencia de potencial eléctrico, que es un elemento esencial para trabajar la Ley de Ohm. Es por ello que se categoriza como insuficiente el ítem vinculado a la correcta conceptualización de los contenidos.

- ¿Cómo crees que la batería genera calor en el circuito? ¿Puede haber otras razones por las cuales la lámpara se encienda?

Figura 5.35: Actividad en donde se evidencia que las ideas de Damián, sobre las razones por la que enciende una lámpara, están alejadas del canon de la física.

La actividad anterior también muestra una escasa o nula relación con el objetivo de enseñanza. Esta situación no es un caso puntual sino que se repite en la mayoría de las actividades planteadas por Damián. Es por ello que se ha categorizado como insuficiente el ítem vinculado a la secuenciación de contenidos.

En la secuencia de actividades presentadas por Damián no se utilizan simuladores o laboratorios reales para que las ideas de los estudiantes progresen. Sólo se recurre a una experiencia imaginaria en los primeros momentos de la clase (Fig. 5.34).

Damián parece intentar recabar algunas preconcepciones en los estudiantes que no guardan estrecha relación con el tópico a trabajar. Las ideas previas relevadas corresponden a los elementos necesarios para conformar un circuito eléctrico y el tema abordado es la Ley de Ohm. Además, estas ideas de los estudiantes no son tenidas en cuenta para el desarrollo de la clase.

El discurso propuesto parece favorecer la participación de los estudiantes, pero al haber una explicación inicial del docente que no guarda relación con las preguntas que se le formulan a los estudiantes, se califica como insuficiente el tipo de discurso propuesto.

El diseño elaborado por Damián, presenta una instancia evaluativa al final de la secuencia que es calificada como insuficiente, ya que sólo apunta a recordar

algún el enunciado de la Ley de Ohm pero no sirve para valorar la comprensión de los estudiantes de ese principio físico (Fig. 5.36).

Actividad para evaluar el progreso de las ideas previas.

- 1) Enuncie la Ley de Ohm
- 2) ¿De qué variables depende?

Figura 5.36: Actividad propuesta por Damián para evaluar el aprendizaje de los estudiantes.

Al igual que el resto de las producciones de los estudiantes analizados hasta este punto, la SEA diseñada por Damián no presenta actividades que apunten a trabajar aspectos de la Naturaleza de la Ciencia, ni actividades de metacognición que ayuden a los estudiantes a visualizar su proceso de aprendizaje.

CPC Indicador	Damián
Conocimiento sobre el currículum	
Idoneidad de los conceptos en relación con el diseño curricular	Competente
Conocimiento sobre el contenido	
Correcta conceptualización	Insuficiente
Vínculos y conexiones con otros conceptos	Nulo
Vínculos con la Naturaleza de la Ciencia	Nulo
Conocimiento sobre la comprensión de los estudiantes	
El docente reconoce posibles conocimientos previos de los estudiantes	Nulo
El docente utiliza las ideas previas de los estudiantes para guiar la instrucción	Nulo
El docente sondea la comprensión de los estudiantes con preguntas	Nulo
Conocimiento sobre la estrategias de instrucción	
Apropiada secuenciación de los conceptos	Insuficiente
Problematización del contenido	Competente
Utilización Laboratorios/Simulaciones	Insuficiente
Discurso en el aula propuesto	Insuficiente
Cierre de la clase	Insuficiente
Uso de estrategias que permitan la metacognición	Nulo

Conocimiento sobre la estrategias de evaluación	
Momento y finalidad de evaluación del progreso de los estudiantes	Insuficiente
Tipo de evaluación	Insuficiente

Tabla 5.16: Caracterización del CPC de Damián .

Damián no había logrado la apropiación de los contenidos, esto se visibiliza también en la caracterización del CPC a través de la propuesta de enseñanza que él diseñó.

Menos el conocimiento curricular y un ítem vinculado al conocimiento sobre las estrategias de instrucción, el resto de los componentes del CPC analizados se categorizan como nulo o insuficiente. La Fig. 5.37 expone el nivel de sofisticación del CPC de Damián.

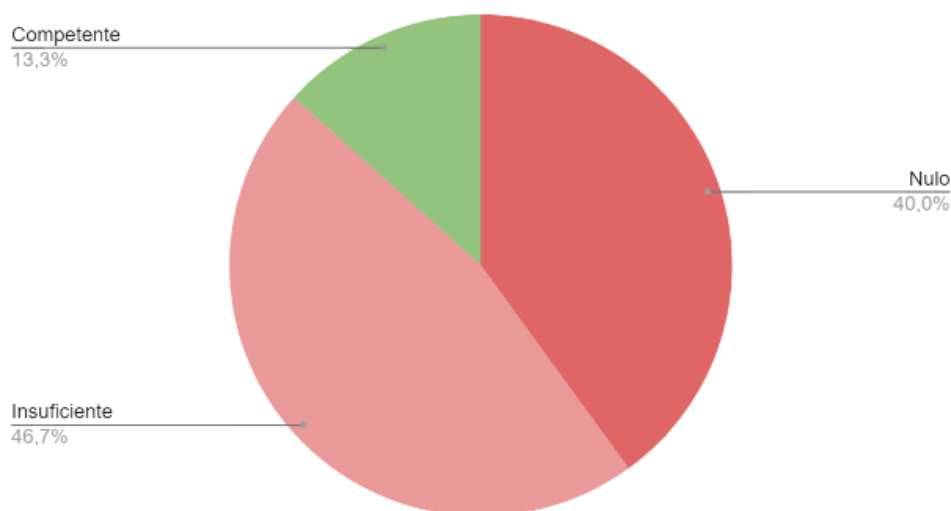


Figura 5.37: CPC de Damián.

5.3.3. Análisis comparativo de los resultados, a partir de los cambios realizados en la SEA

Uno de los propósitos de la investigación basado en el diseño (IBD) es la generación de SEAs fundamentadas en la teoría, y validadas en el contexto del aula real. La iteración de las implementaciones de la IBD ofrece oportunidad de generar ciclos de mejora de las SEAs.

En esta Tesis Doctoral se ha diseñado una SEA en base a resultados de investigación, luego se han valorado los resultados de la SEA en términos de la apropiación del contenido de los estudiantes y del conocimiento pedagógico del

contenido (CPC) de esos futuros docentes. Los resultados de la primera implementación dieron paso a la realización de ajustes en la SEA original. Siempre respetando la teoría en la cual se basó este diseño inicial, pero atendiendo a las dificultades surgidas en la primera iteración.

La SEA mejorada, se implementa en la segunda iteración en el 2023, generando nuevos resultados que se presentan a continuación:

Sobre la Apropiación

Durante la primera implementación ninguno de los dos estudiantes del curso de FE pudo alcanzar la caracterización de logrado en todos los marcadores. En la segunda implementación, 3 de los 6 estudiantes pudieron alcanzar la caracterización de *logrado* en **todos** los marcadores.

Además, en la segunda implementación la mayoría de los estudiantes mostró que su idea idiosincrática estaba en concordancia con el canon de la física.

También se observó que en la primera implementación ninguno de los dos participantes alcanzó la caracterización de “logrado” en lo que respecta al marcador D, referido a los aspectos epistemológicos y metacognitivos de la idea idiosincrática identificada. En cambio, en la segunda implementación la mitad de los cursantes alcanzó la caracterización de “logrado” en ese marcador.

Por otro lado, se observó una mejora en cómo los estudiantes comprenden el funcionamiento de los circuitos eléctricos. Mientras que en la primera implementación los estudiantes cursantes aprendieron a resolver circuitos en serie y en paralelos a través de “axiomas” que no los comprendían, los estudiantes de la segunda implementación podían entender el porqué del funcionamiento de cada tipo de circuito. Esto sucedió porque en la primera implementación se dejó para el final de la cursada, la incorporación de un modelo microscópico para comprender la circulación de cargas y se utilizó una analogía con un modelo hidráulico para trabajar el concepto de resistencia y la resolución de circuitos eléctricos de más de una resistencia. En cambio en la segunda implementación, se incorporó tempranamente el modelo de Drude que ayudó a que los estudiantes prontamente pudieran pensar a los circuitos eléctricos en términos microscópicos.

También consideramos que fue un atino postergar el trabajo con la controversia Galvani Volta para el último tramo de la implementación. Durante la segunda iteración, los estudiantes no encontraron dificultades para comprender la controversia y el funcionamiento de los experimentos realizados por ambos investigadores. En cambio, durante la primera iteración los estudiantes tuvieron dificultades para determinar el recorrido de la intensidad de la corriente eléctrica en cada una de las experiencias y podía reforzar la idea de circuitos eléctricos monopolares.

Sobre el CPC

A posteriori de la segunda implementación, el desarrollo logrado de los CPCs de los futuros docentes fue superior a los de los participantes de la primera implementación.

Por ejemplo, si se realiza una prueba de comparación de proporciones de los ítems del CPC caracterizados como competentes de cada una de las cohortes, es posible afirmar con 88 % de confianza que los resultados de la segunda implementación son superiores a los de la primera.

Mirando en detalle cada una de los tipos de conocimientos que fueron analizados del CPC, se observa que el ítem evaluación mejoró significativamente. Durante la primera implementación ninguno de los estudiantes logró la caracterización de competente en ambos ítems vinculados con las estrategias de evaluación, En cambio, en la segunda implementación, 4 de los 6 estudiantes alcanzaron esa caracterización.

También se observa una mejora significativa en lo que respecta al conocimiento sobre la manera en la que comprenden los estudiantes. En la primera implementación ninguno de los estudiantes logra obtener la caracterización de competente en los tres ítems del CPC vinculados con este conocimiento. En cambio, 4 de los 6 estudiantes de la segunda implementación obtuvieron la caracterización de competente en los 3 ítems vinculados con el trabajo con las ideas previas de los estudiantes. Esto muestra, en una mirada global, que los estudiantes de la segunda implementación generaron propuestas que contemplan en mayor medida el trabajo con las ideas previas de los estudiantes, en comparación con las propuestas desarrolladas por sus pares de la primera implementación.

En el resto de los ítems analizados sobre el CPC no se observan diferencias significativas entre los logrados por los estudiantes de la primera y de la segunda implementación.

5.3.4. Análisis del vínculo entre los CPC de los estudiantes las cohortes 2022/2023 y la apropiación del discurso científico.

Luego de caracterizar los CPC de los estudiantes que experimentaron la cursada de la asignatura de Fenómenos Electromagnéticos didácticamente reconstruida durante el año 2022 y 2023, es posible advertir que esos futuros docentes recuperan las estrategias didácticas experimentadas como estudiantes, para diseñar sus propias clases cuando éstos se apropian del contenido. El CPC de los futuros docentes se ve fortalecido en mayor medida con quienes presentan un mayor grado

de apropiación, y la diferencia es más significativa con el CPC del estudiante que no evidenció apropiación.

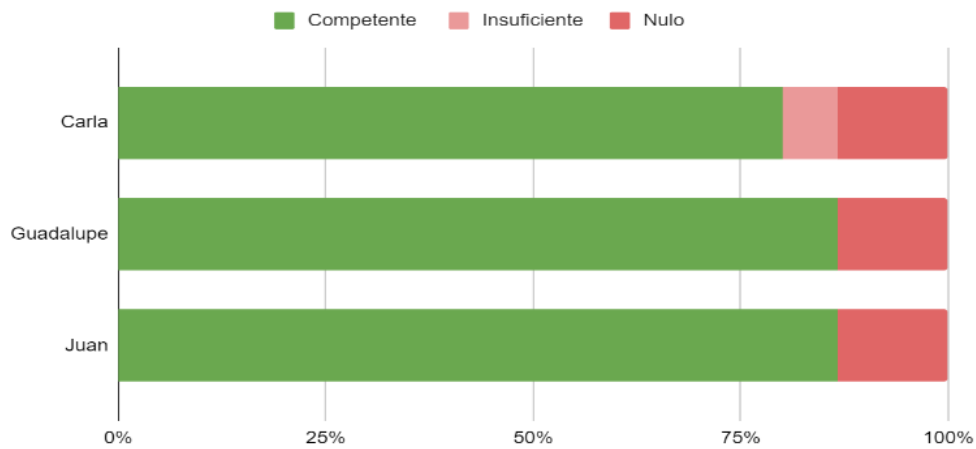


Figura 5.38: CPC de estudiantes con mayor Apropiación.

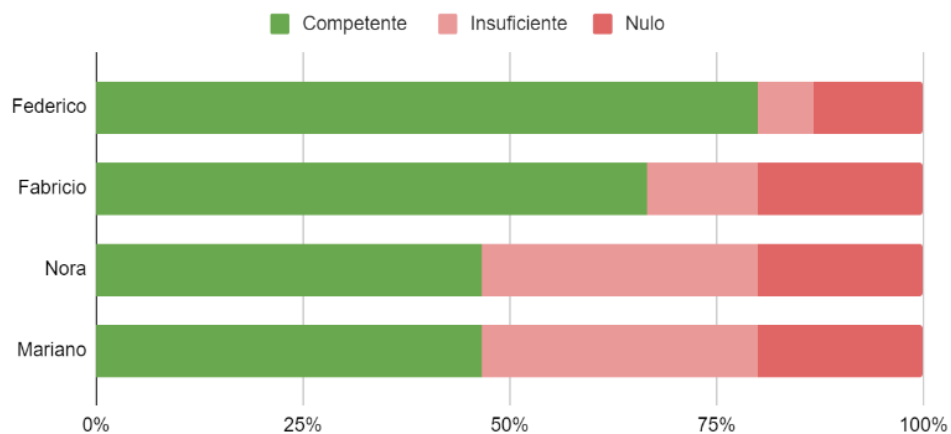


Figura 5.39: CPC de estudiantes con menor Apropiación.

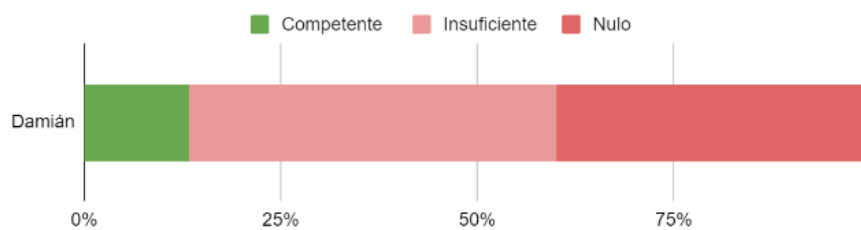


Figura 5.40: CPC de estudiante de No Apropiación.

Los estudiantes que lograron alcanzar niveles altos de apropiación (Carla, Juan, Guadalupe y Federico) mostraron buenos desempeños en lo que refiere a la comprensión de la manera en la que los estudiantes aprenden, pudiendo diseñar

propuestas que trabajan de forma competente con las ideas de los estudiantes (Fig. 5.38). En cambio, aquellos futuros docentes que mostraron una menor apropiación del contenido más débil no lograron orientar sus propuestas para trabajar con las ideas de los estudiantes (Fig. 5.39 y Fig. 5.40).

Adentrándonos en la caracterización del conocimiento sobre las estrategias de instrucción expuestas en las clases diseñadas, es posible decir que futuros docentes que mostraron mayor apropiación demuestran haber adquirido distintos recursos vinculados con las estrategias de instrucción. En base al análisis realizado se observa que muchos de ellos secuencian y problematizan los contenidos de forma apropiada. Cuatro de los seis futuros docentes, proponen la utilización de laboratorios y/o simulaciones de forma didácticamente acertada, es decir utilizan el laboratorio para tensionar modelos alternativos de los estudiantes y no sólo para corroborar la teoría. Además, estos futuros docentes proponen un discurso en el aula en dónde se reconoce el valor de las palabras de los estudiantes. En todos los casos, las propuestas de enseñanza diseñadas tienen momentos de cierre de clase en dónde los estudiantes pueden conceptualizar lo trabajado. Es decir, en las propuestas existen instancias en donde el docente recupera los aportes, conclusiones o ideas de los estudiantes, las ordena, las formaliza y eventualmente podría agregar información al respecto.

Por otra parte, los estudiantes que se apropiaron del discurso científico, desarrollaron propuestas que están en consonancia con los diseños jurisdiccionales. También las propuestas de estos futuros docentes muestran, en general, un uso apropiado de las estrategias de evaluación en relación a qué tipo de instrumentos utilizan y el momento de la secuencia didáctica en la que se pretende evaluar.

Sobre el conocimiento de la disciplina, en particular con la correcta conceptualización de los contenidos, se encuentra una correspondencia entre la caracterización de este ítem del CPC y los resultados sobre la caracterización de la apropiación.

Un denominador común en todas las propuestas fue la inexistencia de actividades que promuevan la metacognición de los estudiantes. En ninguno de los casos analizados se encontraron actividades que les permitan a los estudiantes reflexionar sobre el proceso de aprendizaje.

Finalizando con esta sección de análisis, también se observa que a pesar de haber trabajado actividades vinculadas a la Naturaleza de la Ciencia en múltiples instancias durante la cursada, los estudiantes no incorporan ninguna actividad sobre este aspecto del conocimiento. Pareciera que los estudiantes no consideran relevante trabajar actividades que apunten a conocer los procesos de construcción del conocimiento científico que están abordando.

5.3.5. Comparación de los CPC de los estudiantes de las cohortes 2022/2023 vs 2021

Dado que el CPC se construye a lo largo de toda la trayectoria de los estudiantes, no sólo en lo que respecta a la asignatura FE, es importante observar cómo se caracteriza el CPC de estudiantes que han cursado las mismas asignaturas pero sin que ésta sea reconstruida didácticamente. Comparar los CPC de los estudiantes que cursaron FE rediseñada para esta Tesis Doctoral (cohortes 2022 y 2023), con los CPC de los estudiantes del profesorado que cursaron FE previo a dicha reconstrucción (cohorte 2021), permite valorar si lo observado en los CPC puede ser atribuido al rediseño de la asignatura o si corresponde a la formación que tradicionalmente ocurre en el profesorado. Por el número de casos analizados, esta comparación no es en términos estadísticos, pero si entendemos que sirve para realizar un análisis en profundidad de los casos seleccionados.

A continuación, se muestra la caracterización del CPC de cada uno de los estudiantes de la cohorte 2021. Posteriormente se exponen las comparaciones entre los CPC de las cohortes 2022/2023 con la 2021.

Resultados sobre la caracterización del CPC de los cursantes de FE 2021

Como se mencionó en la sección metodología, los cuatro estudiantes que cursaron la asignatura Fenómenos Electromagnéticos en el 2021 lo hicieron en su versión tradicional, es decir, previo a la reconstrucción didáctica llevada a cabo a los fines de esta Tesis Doctoral.

Durante el año 2022, esos estudiantes del profesorado, cursaron el espacio curricular denominado Didáctica de las Ciencias Naturales III. En ese contexto, se les solicitó a cada uno de ellos que elaborarán el diseño de dos clases sobre un subtópico del tema circuitos eléctricos a elección. A continuación, se presentan los resultados del análisis de cada uno de los 15 ítems del CPC de cada una de las clases presentadas por los futuros docentes de la cohorte 2021.

Caracterización del CPC de Jael

El tópico abordado en la propuesta de Jael corresponde al concepto de resistencia eléctrica. La propuesta se ajusta a los contenidos prescriptos por el diseño curricular jurisdiccional.

El diseño de Jael comienza con una problematización del contenido que consiste en que los estudiantes armen distintos circuitos para evidenciar la existencia de materiales conductores y aislantes (Fig. 5.41).

Actividad 1:(20 minutos) Para realizar esta actividad trabajaremos en el laboratorio, donde presento a mis estudiantes 4 circuitos eléctricos formados por una pila, conductores de cobre y un foco, luego propongo que formen 4 grupos de 3 integrantes, a continuación reemplazo los conductores de cobre por unos de plástico y antes de conectarlos al foco, pregunto, que creen que pasará cuando los conecte al circuito? cada grupo debe responder fundamentando su respuesta.

Figura 5.41: Actividad propuesta por Jael para problematizar el contenido.

En actividad anterior se muestra que Jael confunde la resistencia de un material conductor con la propiedad de un material aislante. Las ideas previas que pueda relevar con esta actividad no le serán de utilidad para trabajar el concepto de resistencia eléctrica puesto que la intensidad de corriente es cero en este caso. Esta baja conexión entre las ideas previas relevadas y el contenido a trabajar lleva a calificar como insuficiente el ítem relacionado con el reconocimiento de las ideas previas de los estudiantes

En la propuesta elaborada por Jael, no se trabajan con las ideas de los estudiantes, sino que utiliza la palabra o laboratorios demostrativos para mostrarles a los estudiantes el contenido. En el diseño no se visualizan momentos en donde las preconcepciones de los estudiantes se vean tensionadas, sino que el docente es quien expone el contenido (Fig. 5.42).

Para avanzar, les muestro a los estudiantes distintos focos de luz y explico el material conductor que tienen dentro de ellos, indicando que el material es muy parecido al del experimento y en algunos es el mismo, que sirve como resistencia al paso de las cargas eléctricas. y que estas resistencias tienen su unidad de medida (ohmios Ω) y se las puede medir usando un multímetro.

Figura 5.42: Explicación de Jael que no deja lugar para que los estudiantes enuncien sus conclusiones elaboradas en el experimento anterior.

En los cierre de clase Jael realiza conexiones con otros conceptos trabajados previamente. No se registran actividades que trabajen la Naturaleza de la Ciencia, ni aspectos metacognitivos en los estudiantes. Por otro lado, en relación a la secuenciación de contenidos, se visualiza escaso vínculo entre cada subcontenido de la SEA. Por ejemplo, se trabaja la definición de resistencia pero ésta no toma relevancia al trabajar la resistencia equivalente de circuitos de 2 o más resistencias.

Como se ha mencionado hasta aquí, la palabra de los estudiantes no es tenida en cuenta para el desarrollo de la clase ya que esta se caracteriza por tener un discurso predominantemente autoritario.

Por último sólo se registra una actividad evaluativa final que apunta a la resolución algorítmica de circuitos de 2 o más resistencias. La resolución de esta actividad no muestra la comprensión que los estudiantes tienen sobre el fenómeno

trabajado. Este ejercicio se puede resolver sólo sustituyendo una ecuación que el docente ha presentado a lo largo de la clase. Es por ello que ambos items vinculados con el conocimiento de las estrategias de evaluación han sido caracterizados como insuficiente (Fig. 5.43).

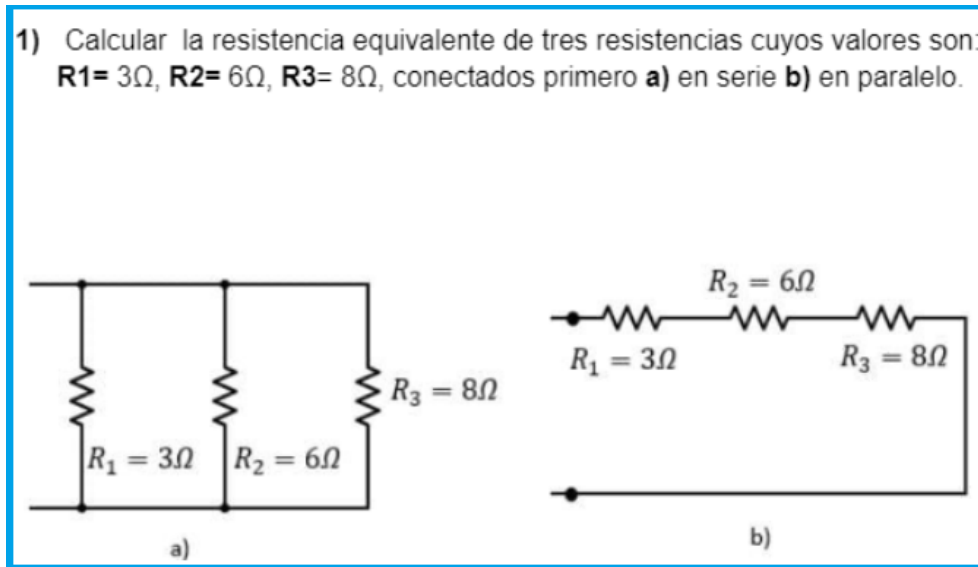


Figura 5.43: Actividad evaluativa propuesta por Jael.

CPC Indicador	Jael
Conocimiento sobre el currículum	
Idoneidad de los conceptos en relación con el diseño curricular	Competente
Conocimiento sobre el contenido	
Correcta conceptualización	Insuficiente
Vínculos y conexiones con otros conceptos	Competente
Vínculos con la Naturaleza de la Ciencia	Nulo
Conocimiento sobre la comprensión de los estudiantes	
El docente reconoce posibles conocimientos previos de los estudiantes	Insuficiente
El docente utiliza las ideas previas de los estudiantes para guiar la instrucción	Insuficiente
El docente sondea la comprensión de los estudiantes con preguntas	Nulo
Conocimiento sobre la estrategias de instrucción	
Apropiada secuenciación de los conceptos	Insuficiente

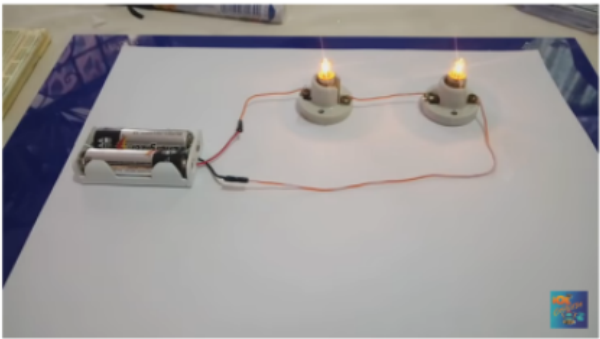
Problematización del contenido	Competente
Utilización Laboratorios/Simulaciones	Insuficiente
Discurso en el aula propuesto	Insuficiente
Cierre de la clase	Competente
Uso de estrategias que permitan la metacognición	Nulo
Conocimiento sobre la estrategias de evaluación	
Momento y finalidad de evaluación del progreso de los estudiantes	Insuficiente
Tipo de evaluación	Insuficiente

Tabla 5.17: Caracterización del CPC de Jael.

Caracterización del CPC de Armando

La propuesta de enseñanza de Armando aborda el tópico circuitos eléctricos en serie. Esto se ajusta al diseño curricular. La propuesta comienza con una actividad experimental que tiene como objetivo problematizar el contenido. A partir de esta actividad, se prevé recabar las ideas previas de los estudiantes (Fig. 5.44).

Actividad 1 (20 minutos)
 Para llevar a cabo esta actividad, haremos uso del laboratorio de la escuela. En caso de no contar con el mismo, utilizaremos el aula como el espacio para trabajar. Llevaré 4 pequeñas maquetas de un circuito en serie como se muestra en la siguiente imagen:



Dividiré el curso en cuatro grupos, les presentare la maqueta del circuito a cada grupo(sin colocar las pilas) y les haré la siguiente pregunta:
 -¿como creen que funciona este circuito?

Figura 5.44: Actividad problematizadora del contenido propuesta por Armando.

La pregunta realizada puede ser respondida sin que los estudiantes evidencien algún modelo alternativo sobre circuitos eléctricos. La pregunta abierta sobre cómo creen los estudiantes que funcionan los circuitos eléctricos en serie ofrece un abanico de posibles respuestas que es difícil de trabajar con ellas, es por esto que se ha caracterizado el ítem vinculado con la recabación de ideas previas de los estudiantes como insuficiente.

Además, aunque Armando intenta relevar las preconcepciones de los estudiantes no utiliza éstas ideas para desarrollar la clase, como se evidencia en la actividad de la Fig. 5.44

Actividad 2 (30 min)

En esta segunda actividad, seguiremos trabajando con los circuitos, y tendre como objetivo ir orientando al estudiante a las variables que aparecen en un circuito en serie, en este caso, que la corriente es la misma en todo el circuito y lo que varía es el voltaje. Para llevar a cabo esta actividad utilizaremos una pinza amperometrica y un multímetro para realizar las mediciones correspondientes.

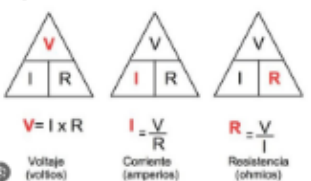
El circuito que tenemos originalmente esta conformado por una pila de 1,5 V.

Figura 5.45: Actividad en donde el docente explicará a los estudiantes las características de un circuito en serie en base a las mediciones que se realizan.

En la propuesta de Armando el discurso que prevalece es autoritativo, aunque su intención sea la de relevar las ideas de los estudiantes puesto que las conceptualizaciones que se propone no se desprenden de las actividades realizadas. Esto puede visualizarse en la segunda actividad de la segunda clase:

Actividad 2 (25 min)
 Esta segunda actividad tienen como objetivo introducir la ley de ohm trabajada en clases anteriores y agregar las leyes de kirchhoff que nos permitirá realizar el cálculo de un circuito en serie y como estos son aplicables para diseños de circuitos más grandes.

Ley de Ohm



$V = I \times R$ $I = \frac{V}{R}$ $R = \frac{V}{I}$

Voltaje (volts) Corriente (amperios) Resistencia (ohms)

Leyes de kirchhoff para un circuito en serie:

$R_t = R_1 + R_2 + R_n$
 $V_t = V_1 + V_2 + V_n$
 $I_t = I_1 + I_2 + I_n$

Luego de haber explicado a mis estudiantes las leyes de kirchhoff les pedire que intenten resolver el sgte problema.
 -Del circuito a continuación encontrar:

- Resistencia total
- Voltaje en cada resistencia
- intensidad del circuito

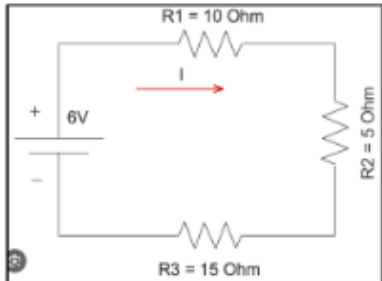


Figura 5.46: Explicación del contenido propuesta por Armando.

La propuesta de Armando posee una sólo instancia de evaluación al final de la secuencia que consiste en la resolución algorítmica de circuitos eléctricos en serie en base a las Leyes de Kirchhoff.

La propuesta de Armando no contiene actividades que apunten a trabajar la Naturaleza de la Ciencia, ni aspectos metacognitivos en los estudiantes. Por otro lado, por lo expuesto en los cierres de clase de la secuencia, se evidencia una correcta conceptualización del contenido, aunque se establecen pocos vínculos con otros conceptos que se podría asumir que han sido trabajados previamente.

En la secuencia de actividades propuesta por Armando, se trabaja inicialmente lo que ocurre cuando una lámpara se saca del circuito en serie del cual forma parte. Luego, sin escalas, se exponen las Leyes de Kirchhoff. El escaso vínculo entre las actividades hace que se caracterice como insuficiente el ítem correspondiente a la secuenciación de las actividades.

En el diseño de clase se registran algunas instancias en dónde se utilizan los laboratorios y/o simulaciones sólo para corroborar la teoría. Es por ello que este punto se ha categorizado como insuficiente.

CPC Indicador	Armando
Conocimiento sobre el currículum	
Idoneidad de los conceptos en relación con el diseño curricular	Competente
Conocimiento sobre el contenido	
Correcta conceptualización	Competente
Vínculos y conexiones con otros conceptos	Insuficiente
Vínculos con la Naturaleza de la Ciencia	Nulo
Conocimiento sobre la comprensión de los estudiantes	
El docente reconoce posibles conocimientos previos de los estudiantes	Insuficiente
El docente utiliza las ideas previas de los estudiantes para guiar la instrucción	Insuficiente
El docente sondea la comprensión de los estudiantes con preguntas	Nulo
Conocimiento sobre la estrategias de instrucción	
Apropiada secuenciación de los conceptos	Insuficiente
Problematización del contenido	Competente
Utilización Laboratorios/Simulaciones	Insuficiente
Discurso en el aula propuesto	Insuficiente
Cierre de la clase	Competente

Uso de estrategias que permitan la metacognición	Nulo
Conocimiento sobre la estrategias de evaluación	
Momento y finalidad de evaluación del progreso de los estudiantes	Insuficiente
Tipo de evaluación	Insuficiente

Tabla 5.18: Caracterización del CPC de Armando .

Caracterización del CPC de Gabriel

La secuencia de actividades elaborada por Gabriel corresponde al tópico circuitos eléctricos en serie. La propuesta se ajusta a los contenidos prescriptos por el diseño curricular jurisdiccional.

La propuesta comienza con preguntas a los estudiantes que intentan recabar las ideas previas. Estas preguntas no problematizan el contenido y tampoco ofrecen oportunidades para que los estudiantes evoquen sus modelos alternativos sobre el funcionamiento de los circuitos en serie. A continuación se muestra la actividad inicial:

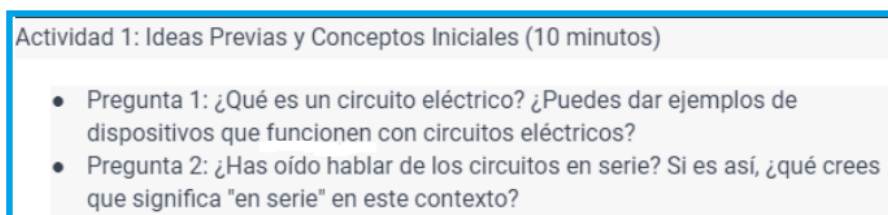


Figura 5.47: Actividad inicial de la propuesta de Gabriel.

Las ideas de los estudiantes no son tenidas en cuenta puesto que inmediatamente de la realización de estas preguntas se procede a una explicación de los conceptos intervinientes. Esta explicación, propuesta por Gabriel, no recupera ninguno de los aportes que los estudiantes podrían haber realizado en la actividad inicial.

La conceptualización propuesta es coherente con la física normativa (Fig. 5.48). A lo largo de las actividades no se realizan conexiones con otros conceptos y tampoco se generan instancias para trabajar aspectos vinculados con la Naturaleza de la Ciencia.

El vínculo entre las actividad inicial y el desarrollo de la clase es débil por lo que el ítem vinculado a la secuenciación de los contenidos es caracterizado como insuficiente.

La actividad experimental propuesta consiste en la realización de una actividad que pretende corroborar la teoría previamente explicada. Es por ello que este ítem del CPC es caracterizado como insuficiente (Fig. 5.49).

Desarrollo de los Conceptos: Circuitos Eléctricos en Serie

Definición de un Circuito en Serie: Explicaremos que un circuito en serie es aquel en el que los componentes están conectados uno después del otro en una sola trayectoria. En otras palabras, la corriente eléctrica fluye a través de un componente y luego pasa al siguiente sin ramificarse.

Características de los Circuitos en Serie: Destacaremos las siguientes características de los circuitos en serie:

- Corriente: La corriente es la misma en todos los componentes del circuito en serie.
- Voltaje: El voltaje se divide entre los componentes. La suma de los voltajes a través de los componentes es igual al voltaje total.
- Resistencia Total: La resistencia total es la suma de las resistencias individuales de los componentes.

Figura 5.48: Explicación propuesta de Gabriel.

Actividad 2: Explorando Circuitos en Serie (15 minutos)

Dividiremos a los estudiantes en grupos pequeños y les proporcionaremos un kit de construcción de circuitos en serie con resistencias y una fuente de energía. Les pediremos que armen un circuito en serie y midan los voltajes y las corrientes en diferentes puntos.

Luego, les pediremos que discutan en sus grupos cómo los resultados experimentales coinciden con las características teóricas de los circuitos en serie.

Figura 5.49: Actividad experimental propuesta por Gabriel.

La propuesta didáctica diseñada por Gabriel se caracteriza por proponer un discurso principalmente autoritativo. No reconoce como valioso los aportes que podrían hacer los estudiantes.

Al final de la propuesta se prevé una instancia de cierre y de evaluación. El instrumento de evaluación utilizado es una pregunta que no genera oportunidades para que los estudiantes pongan el conocimiento en acción para la resolución de problemas, sino que más bien apunta al recuerdo de información (Fig. 5.50).

Resumen y Preguntas Finales:

Repasaremos los puntos clave de la clase y alentaremos a los estudiantes a hacer preguntas adicionales sobre los circuitos en serie.

Pregunta Final: ¿Cómo está su comprensión sobre los circuitos en serie después de realizar la actividad práctica?

Figura 5.50: Actividad evaluativa propuesta por Gabriel.

CPC Indicador	Gabriel
Conocimiento sobre el currículum	
Idoneidad de los conceptos en relación con el diseño curricular	Competente
Conocimiento sobre el contenido	
Correcta conceptualización	Competente
Vínculos y conexiones con otros conceptos	Nulo
Vínculos con la Naturaleza de la Ciencia	Nulo
Conocimiento sobre la comprensión de los estudiantes	
El docente reconoce posibles conocimientos previos de los estudiantes	Insuficiente]
El docente utiliza las ideas previas de los estudiantes para guiar la instrucción	Nulo
El docente sondea la comprensión de los estudiantes con preguntas	Nulo
Conocimiento sobre la estrategias de instrucción	
Apropiada secuenciación de los conceptos	Insuficiente
Problematización del contenido	Nulo
Utilización Laboratorios/Simulaciones	Insuficiente
Discurso en el aula propuesto	Insuficiente
Cierre de la clase	Nulo
Uso de estrategias que permitan la metacognición	Nulo
Conocimiento sobre la estrategias de evaluación	
Momento y finalidad de evaluación del progreso de los estudiantes	Insuficiente
Tipo de evaluación	Insuficiente

Tabla 5.19: Caracterización del CPC de Gabriel .

Caracterización del CPC de Analía

La propuesta diseñada por Analía aborda el tema introducción a los circuitos eléctricos simples, diferenciación de los conceptos de intensidad de corriente y de diferencia de potencial eléctrica.

La propuesta contiene elementos que no se ajustan a lo prescrito por el diseño curricular jurisdiccional, como por ejemplo la definición de sistema en el marco de los circuitos eléctricos.

En el desarrollo de la propuesta Analía no genera instancias de cierre en dónde se pueda advertir su comprensión sobre el tópico en el que se basa la secuencia

(Fig. 5.51).

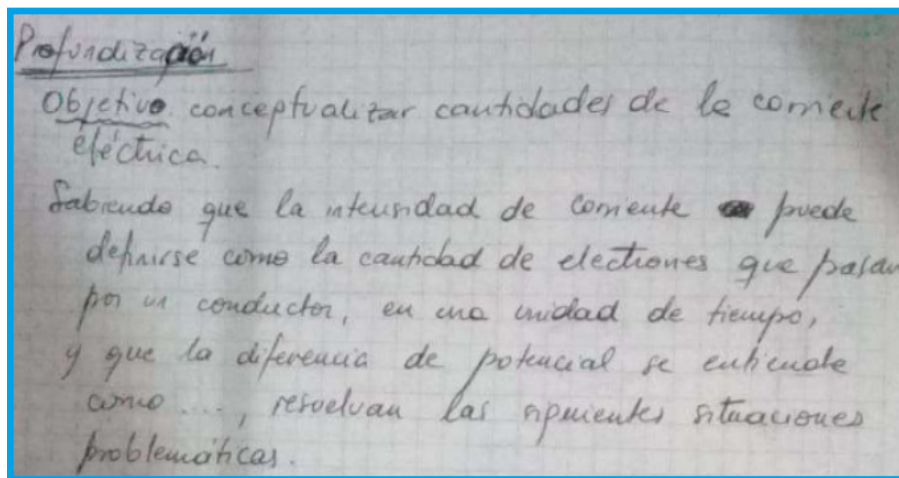


Figura 5.51: Momento de cierre propuesto por Analía en donde omite conceptualizar uno de los conceptos.

Algunas preguntas dan cuenta que Analía piensa que el tamaño de las “pilas” está relacionado con la diferencia de potencial y que ésto podría tener efectos sobre la intensidad de corriente eléctrica de un circuito, como se muestra en la Fig. 5.52).

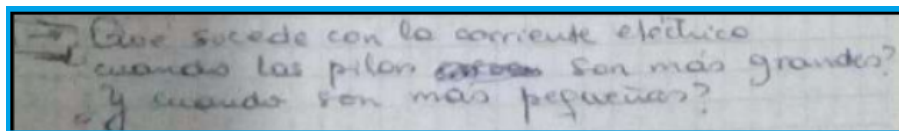


Figura 5.52: Pregunta que evidencia que Analía relaciona la intensidad de corriente eléctrica con el tamaño de las pilas.

En la secuencia diseñada por Analía no se generan vínculos con otros conceptos y tampoco se prevén actividades que trabajen algún aspecto de la Naturaleza de la Ciencia.

El diseño no presenta una actividad problematizadora, sino un análisis sobre distintos artefactos que funcionan con electricidad (Fig. 5.53). Se prevé que de este análisis emerjan algunas preconcepciones de los estudiantes vinculadas a los circuitos eléctricos. Sin embargo, se considera que la actividad no ofrece oportunidades para que los estudiantes evoquen sus modelos alternativos.

Las posibles ideas recabadas en la actividad anterior no son tenidas en cuenta para el desarrollo de la clase, ya que inmediatamente después se procede a un momento de “conceptualización”. En esta actividad (Fig. 5.54) se visualiza que Analía no reconoce como sinónimo la intensidad de corriente eléctrica de la “corriente eléctrica”, puesto que lo expone como dos conceptos distintos.

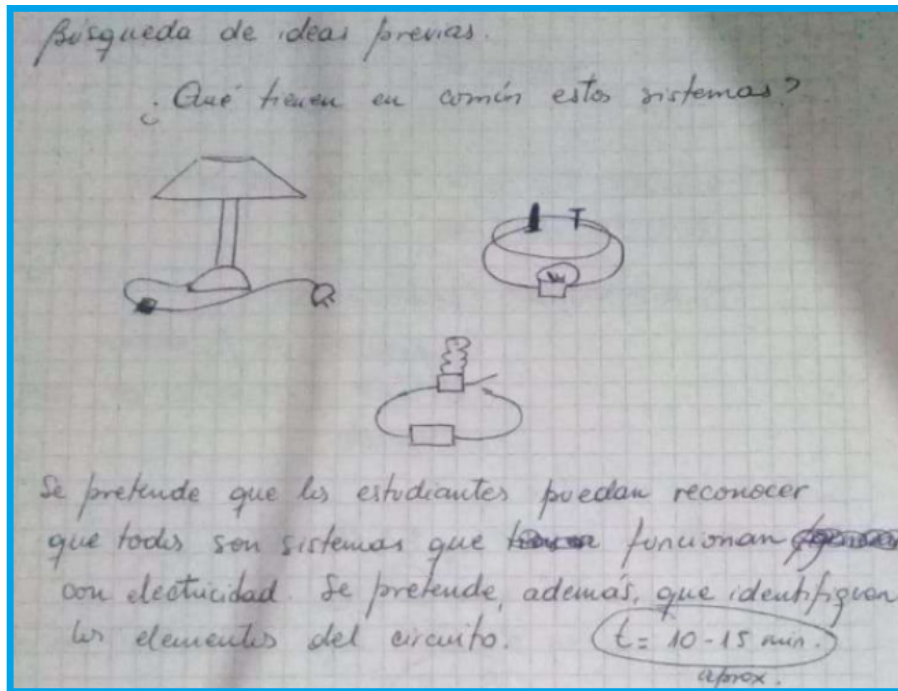


Figura 5.53: Actividad propuesta por Analía para recabar algunas preconcepciones de los estudiantes.

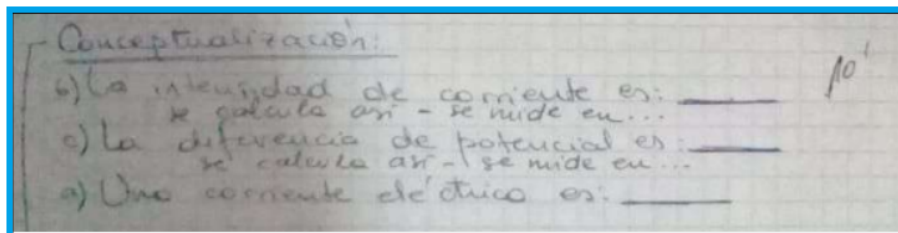


Figura 5.54: Actividad propuesta por Analía para explicar/conceptualizar algunas magnitudes.

En la propuesta de Analía se visualiza poca conexión entre las actividades y las conceptualizaciones, es por ello que el ítem referido a la secuenciación de los contenidos es caracterizado como insuficiente.

Analía no prevé utilizar simulaciones o laboratorios para el desarrollo de su propuesta. El discurso que prevalece es el autoritativo.

No se registran en el diseño instancias de evaluación. No se realiza un sondeo de cómo progresan las ideas de los estudiantes en ningún momento de la secuencia.

Tampoco se observan actividades que apunten a trabajar aspectos metacognitivos con los estudiantes, para que ellos puedan advertir el proceso de aprendizaje que están transitando.

Aunque en el diseño de Analía se prevén cierres o “conceptualizaciones”, este ítem se ha caracterizado como insuficiente, porque el contenido expuesto en esas instancias no guardan relación con las actividades realizadas.

CPC Indicador	Analía
Conocimiento sobre el currículum	
Idoneidad de los conceptos en relación con el diseño curricular	Insuficiente
Conocimiento sobre el contenido	
Correcta conceptualización	Insuficiente
Vínculos y conexiones con otros conceptos	Nulo
Vínculos con la Naturaleza de la Ciencia	Nulo
Conocimiento sobre la comprensión de los estudiantes	
El docente reconoce posibles conocimientos previos de los estudiantes	Insuficiente
El docente utiliza las ideas previas de los estudiantes para guiar la instrucción	Nulo
El docente sondea la comprensión de los estudiantes con preguntas	Nulo
Conocimiento sobre la estrategias de instrucción	
Apropiada secuenciación de los conceptos	Insuficiente
Problematización del contenido	Insuficiente
Utilización Laboratorios/Simulaciones	Nulo
Discurso en el aula propuesto	Nulo
Cierre de la clase	Insuficiente
Uso de estrategias que permitan la metacognición	Nulo
Conocimiento sobre la estrategias de evaluación	
Momento y finalidad de evaluación del progreso de los estudiantes	Nulo
Tipo de evaluación	Nulo

Tabla 5.20: Caracterización del CPC de Analía.

Comentario final sobre la caracterización del CPC de los estudiantes de FE de la cohorte 2021

De la caracterización de los CPC de los estudiantes que cursaron FE en la cohorte 2021, emerge que la mayoría muestra una correcta conceptualización de los contenidos en las secuencias didácticas diseñadas por ellos. Paralelamente, esos diseños de clases no evidencian conocimientos sobre conexiones con otros conceptos, ni actividades para trabajar la Naturaleza de la Ciencia. Las propuestas elaboradas por los estudiantes del profesorado no trabajan con las ideas previas

de los estudiantes. Tampoco se evidencia un conocimiento competente sobre las estrategias de evaluación. En contrapartida, en 3 de las 4 propuestas se muestra un conocimiento sobre el currículum ya que los diseños se ajustan a contenidos prescriptos por el diseño curricular jurisdiccional.

Por último, en relación al conocimiento sobre las estrategias de instrucción los CPC caracterizados muestran que en general los estudiantes proponen instancias para cerrar la clase, focalizando en los conceptos o ideas que sus futuros estudiantes deberían llevarse de esa clase. Por otro lado, se encuentran conocimientos insuficientes o nulos en lo que respecta a la secuenciación de los contenidos, el uso de laboratorios o simulaciones, y a la generación de instancias de metacognición.

A continuación se exponen cuatro gráficos que muestran de manera general los niveles alcanzados de los 15 componentes del CPC analizados en cada una de las propuestas correspondientes a Jael, Armando, Gabriel y Analía (Fig. 5.55).

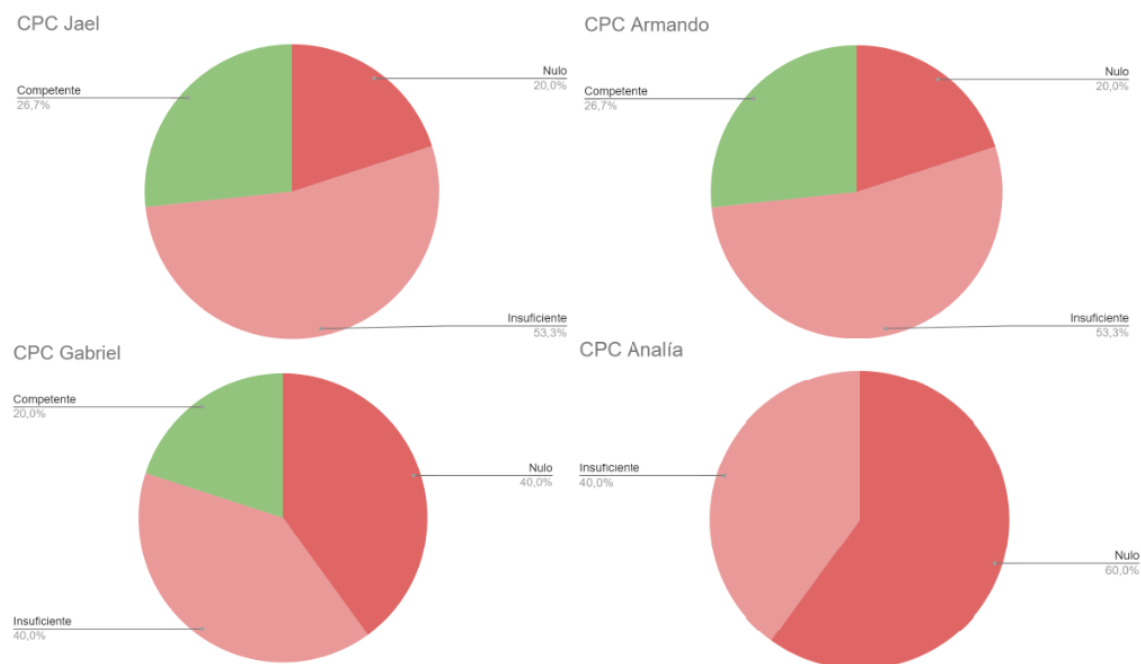


Figura 5.55: CPC de Jael, Armando, Gabriel y Analía.

De las propuestas elaboradas por los estudiantes de la cohorte 2021 se desprende que esos futuros docentes, en general, no direccionan sus propuestas para trabajar con las ideas previas de los estudiantes. Los estudiantes de la cohorte 2021, en sus propuestas, intentan relevar las ideas previas de los estudiantes con preguntas que no son las más apropiadas para tal función. Además las ideas relevadas, no son contempladas para el desarrollo de la propuesta y tampoco se vigila cómo éstas preconcepciones progresan. En este sentido, como se muestra en la Fig. 5.56 y en la Fig. 5.57, los estudiantes de las cohortes 2022 y 2023, en general, tienden a orientar sus propuestas para trabajar los contenidos con las

ideas previas de los estudiantes.

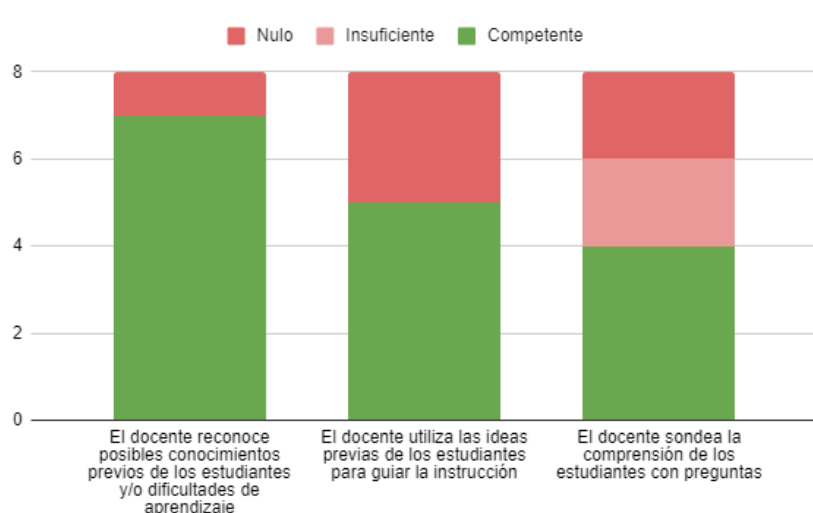


Figura 5.56: Conocimiento sobre la comprensión de los estudiantes, de los futuros docentes de las cohortes 2022/2023.

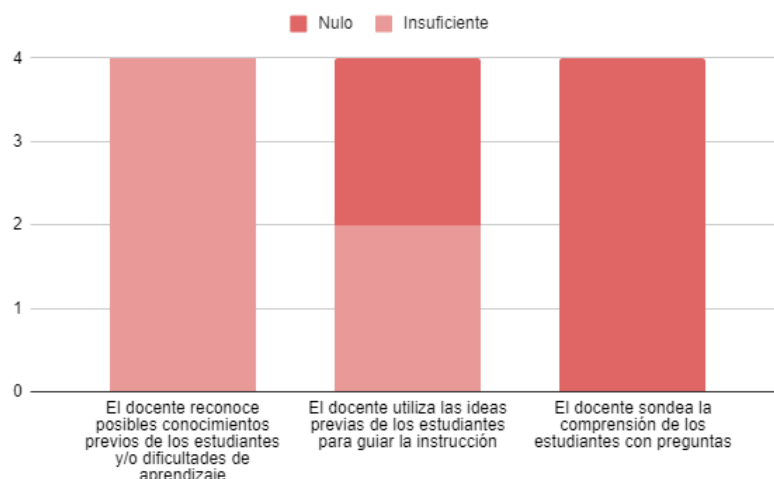


Figura 5.57: Conocimiento sobre la comprensión de los estudiantes, de los futuros docentes de la cohorte 2021.

Los estudiantes pertenecientes al grupo que cursó FE didácticamente reconstruida muestra mejores conocimientos sobre la disciplina que sus pares de cohorte 2021 (Fig. 5.58 y Fig. 5.59). Tanto en lo que refiere a la correcta conceptualización de los contenidos presentada en los diseños, como en los vínculos que se establecen con otros conceptos en las propuestas elaboradas por los futuros docentes. En ambos grupos prácticamente no se registraron actividades que pongan de manifiesto el trabajo sobre la Naturaleza de la Ciencia.

Los conocimientos sobre estrategias didácticas expuestos en las secuencias muestran una dispersión de resultados. Sin embargo, se observa un menor nivel

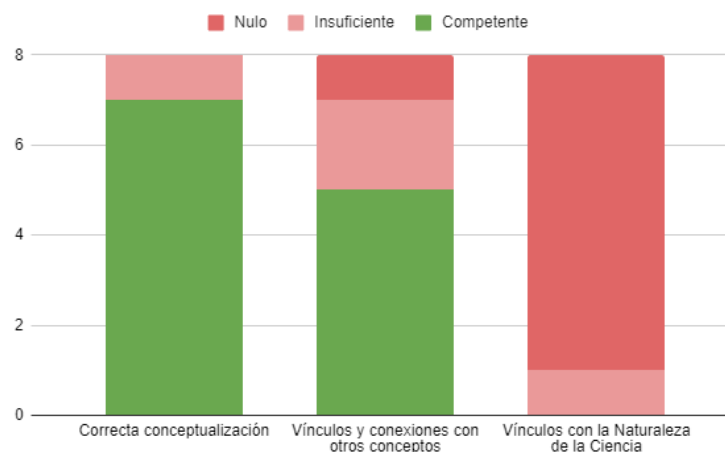


Figura 5.58: Conocimiento sobre el contenido disciplinar, de los futuros docentes de las cohortes 2022/2023.

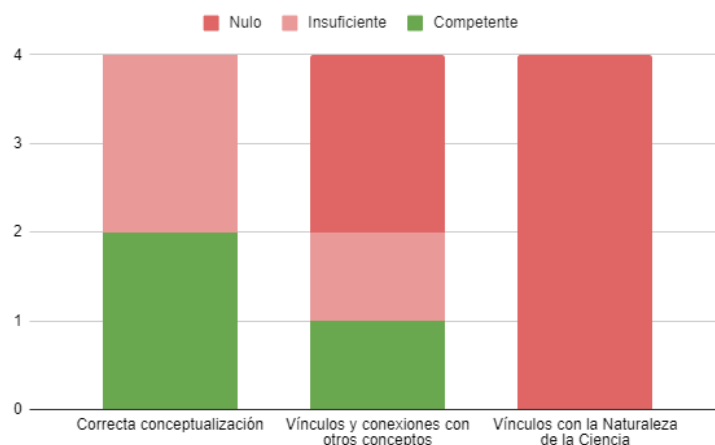


Figura 5.59: Conocimiento sobre el contenido disciplinar, de los futuros docentes de la cohorte 2021.

por parte de los cursantes de la cohorte 2021 que sus pares de las cohortes 2022 y 2023 en los ítems: secuenciación de contenidos, uso del laboratorio/simulaciones y tipo de discurso propuesto (Fig. 5.60 y Fig. 5.61). Además, se observa que la mayoría de las propuestas de todas las cohortes poseen instancias de cierre de clase. Otro punto en común en todas las propuestas relevadas en esta investigación, es la ausencia de actividades que apunten a trabajar aspectos metacognitivos con los estudiantes.

En general las propuestas elaboradas por los futuros docentes de todas las cortes se ajustan al diseño curricular. Esto podría deberse a que los contenidos que ellos trabajan en la asignatura FE están alineados con dichos diseños. Por último, en relación al conocimiento sobre las estrategias de evaluación también se registran diferencias significativas entre los grupos de las cohortes 2022/2023 con los de la cohorte 2021 (Fig. 5.62 Fig. 5.63).

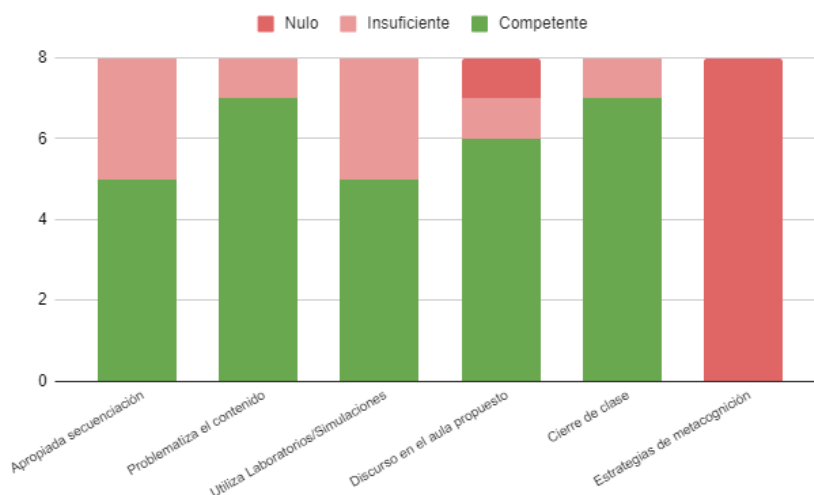


Figura 5.60: Conocimiento sobre las estrategias de instrucción, de los futuros docentes de las cohortes 2022/2023.

En síntesis, si bien la construcción del CPC de los futuros docentes se da a lo largo de toda la formación inicial, es notable cómo este conocimiento se ve fortalecido cuando la asignatura disciplinar se diseña en base a los resultados de investigación. Algunos aspectos vinculados a la estrategias de instrucción no son necesariamente atribuibles a la experiencia vivida por la cursada de la asignatura de FE didácticamente reconstruida. Se reconoce una tendencia a problematizar el contenido y a generar instancias de cierre de clase en la mayoría de los casos analizados independientemente de la cohorte a la que pertenezcan.

Por el contrario, sí es significativo la mejora en lo que refiere al conocimiento sobre la manera en la que comprenden los estudiantes entre los CPC de las cohortes 2022/2023 y la cohorte 2021. También se considera que es atribuible a la cursada de FE didácticamente reconstruida la mejora en lo que refiere al uso de los laboratorios/simulaciones, a la secuenciación de los contenidos, al conocimiento sobre las estrategias de evaluación y al tipo de discurso que se promueve en el diseño de las clases.

Sigue pendiente diseñar mejores estrategias para fortalecer el conocimiento disciplinar para que los estudiantes incorporen en sus propuestas actividades para trabajar la NdC. Otro punto sobre el cuál es necesario seguir pensando es en cómo fortalecer al CPC de los futuros docentes sobre la incorporación de actividades de metacognición en los diseños que ellos realicen.

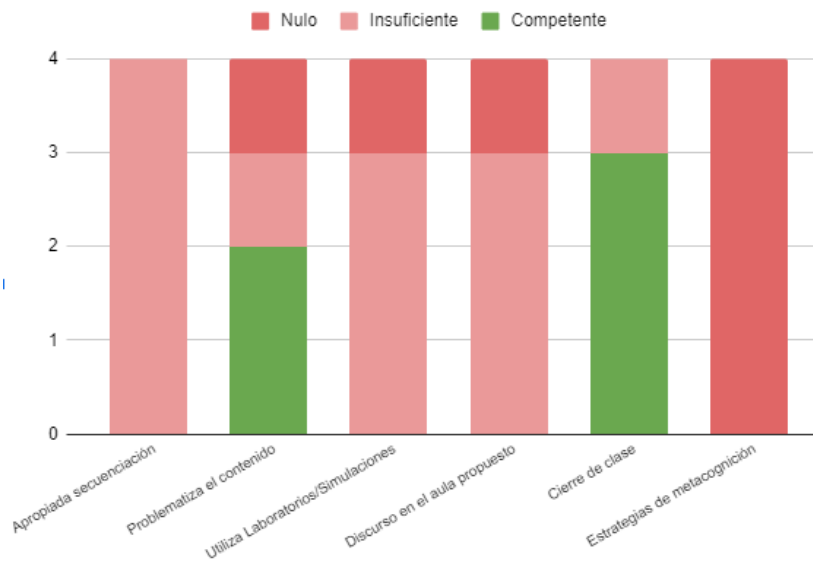


Figura 5.61: Conocimiento sobre las estrategias de instrucción, de los futuros docentes de la cohorte 2021.

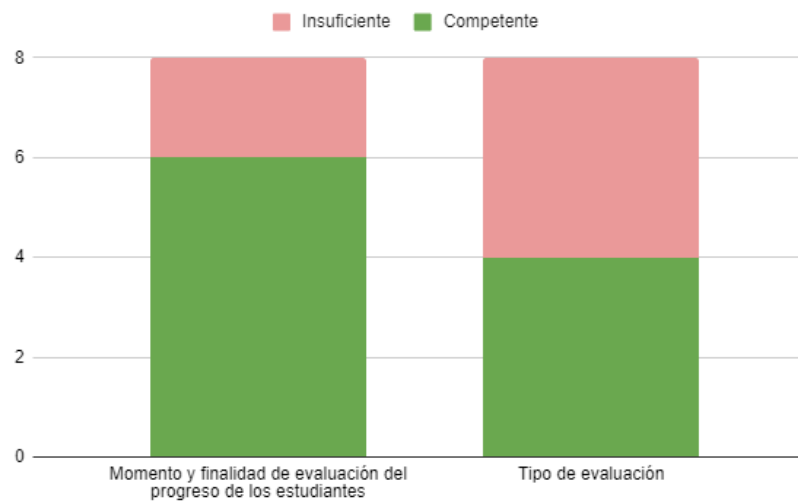


Figura 5.62: Conocimiento sobre las estrategias de evaluación, de los futuros docentes de las cohortes 2022/2023.

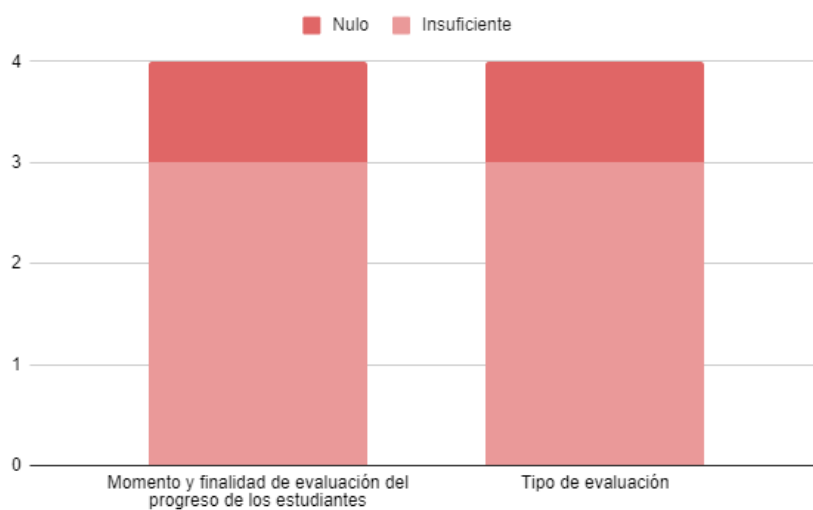


Figura 5.63: Conocimiento sobre las estrategias de evaluación, de los futuros docentes de la cohorte 2021.

Discusiones y Conclusiones

Recuperando la segunda pregunta de investigación de esta Tesis Doctoral sobre ¿Cómo se caracteriza la apropiación del discurso científico (en el campo de los circuitos eléctricos) de los futuros docentes durante la implementación de una propuesta didáctica reconstruida en base a los resultados de investigación en didáctica de las ciencias?. En primer lugar, se puede notar que los indicadores para reconocer apropiación, desarrollados por [Levrini et al. \(2015\)](#) en el contexto de estudiantes secundarios aprendiendo física, se adaptan perfectamente bien al contexto de estudiantes de profesorado de física aprendiendo electromagnetismo. Los resultados muestran cómo esos indicadores pudieron ser aplicados en el discurso de los futuros docentes de física para reconocer apropiación en relación al contenido de circuitos eléctricos. Coincidiendo con [Buteler et al. \(2021\)](#), consideramos que esta extensión de la propuesta teórica/metodológica desarrollada en el contexto de estudiantes secundarios aprendiendo contenidos de física al contexto de futuros docentes aprendiendo contenidos disciplinares, ya es un aporte a la investigación en formación docente.

En segundo lugar, observando los resultados descritos en el capítulo anterior, es posible decir que la apropiación es un proceso complejo, coincidiendo con lo expuesto por [Levrini et al. \(2015\)](#) y [Buteler et al. \(2021\)](#). En los casos analizados, algunos marcadores de apropiación aparecen con distintos niveles. Esto lleva a pensar que la apropiación puede salirse de categorías binomiales del tipo blanco/negro y presentarse como un espectro en escala de grises.

Adentrándonos en la caracterización de cada apropiación de los estudiantes, reconocemos que las ideas idiosincráticas y personales de cada uno de los futuros docentes se pueden agrupar en 3 categorías: la física cotidiana, la física para ser

enseñada, la tensión entre la física cualitativa y la física matematizada. Pensamos que cada una de ellas tiene su valor pensando en la formación docente de física. Por ejemplo: las ideas sobre en qué contextos cotidianos la física cobra sentido colaborará con el futuro docente para desarrollar situaciones problematizadoras del contenido. Como hemos mencionado en el marco teórico que sustenta el diseño de la SEA implementada, la problematización del contenido es un elemento esencial si se pretende lograr involucramiento de los estudiantes en su proceso de aprendizaje (Engle and Conant, 2002).

Por otro lado, las ideas vinculadas a la relación entre las facetas cualitativa y la faceta matematizada del contenido ofrece a los estudiantes del profesorado la oportunidad de reflexionar sobre ello para que éstos aspectos de la física se relacionen armoniosamente en pos de la comprensión de los estudiantes. Tal como se comentó en los primeros capítulos de esta Tesis Doctoral, es habitual que las clases de física se basen en la resolución algorítmica de ejercicios (Guisasola Aranzabal et al., 2011). Entendemos que advertir la coexistencia de ambas facetas de la física y reflexionar sobre ello, es un paso hacia adelante en la generación de propuestas que ayuden a que los estudiantes alcancen una mejor comprensión del contenido.

Por último en relación a la apropiación del contenido, las ideas idiosincráticas vinculadas con la enseñanza de la física ofrecen un marco que consideramos ideal para que los estudiantes se apropien del contenido y de las estrategias de enseñanza simultáneamente. Que los estudiantes del profesorado se involucren en el aprendizaje del contenido disciplinar pensando no sólo en el contenido disciplinar sobre el que están trabajando, sino también que ese contenido deberán enseñarlo colabora a que los estudiantes reflexionen constantemente a lo largo de la cursada sobre las estrategias de instrucción que están experimentando. Esta reflexión sobre la experiencia vivida es una puerta para que los futuros docentes incorporen en sus futuras prácticas las estrategias de enseñanza vividas durante su formación inicial como docentes (Fernández Pérez, 1994; Tobin et al., 1994).

Otro resultado de esta investigación es la validación de los resultados de investigación que sustentaron el diseño. En particular queremos resaltar la importancia de la distribución de la autoridad en los estudiantes. Durante la primera implementación no se logró que la autoridad este equitativamente distribuida entre los estudiantes de la clase. En cambio, en la segunda implementación se hizo mayor énfasis en lograr esta distribución logrando que la mayoría de los estudiantes se sintieran autorizados para dar su punto de vista a lo largo de las clases. Esto provocó mejores niveles de apropiación de los estudiantes participantes de la segunda implementación en comparación con sus pares participantes de la primera implementación. Este resultado es coincidente con lo expuesto en el trabajo de

Velasco et al. (2023), en el cual se muestra cómo interfiere la distribución de la autoridad en el involucramiento de los estudiantes en el marco de la educación secundaria.

Otro aporte emergente de esta investigación es la importancia de proveer de recursos relevantes a los estudiantes. En este sentido, el cambio de la analogía en base al modelo hidráulico de los circuitos eléctricos por el modelo de Drude, logró en estos estudiantes, un impacto positivo en la manera en la cual ellos comprendieron el funcionamiento de los circuitos eléctricos de más de una resistencia.

Este último emergente, resalta la característica contextual de los resultados de investigación. Es decir, la manera en la cual se materializan los resultados de investigación son propios de cada contexto de implementación.

Retomando la primera pregunta de ese trabajo sobre ¿Cómo se fortalece el CPCp (o parte de él) de los futuros docentes de física desde el espacio curricular de Fenómenos Electromagnéticos, cuando este se diseña en base a los resultados de investigación en didáctica de las ciencias?, es posible decir que los estudiantes recuperan varios aspectos sobre la enseñanza del contenido gracias a haber cursado una asignatura didácticamente reconstruida.

En particular, los estudiantes participantes de esta intervención generan propuestas en las cuales se problematiza el contenido y utilizan el laboratorio o las simulaciones para tensionar los modelos alternativos de sus estudiantes. A diferencia de sus pares que no experimentaron la cursada de la asignatura didácticamente reconstruida en base a resultados de investigación en Didáctica de las Ciencias.

Además, los estudiantes que participaron de la intervención realizada en esta Tesis Doctoral, tienden a secuenciar mejor los contenidos. Logran establecer mejores vínculos entre las actividades que proponen y los objetivos de enseñanza que persiguen en sus diseños de clase. También, estos estudiantes de profesorado proponen actividades que promueven en mayor medida el intercambio y las discusiones entre los estudiantes en comparación con sus pares que cursaron la asignatura FE previo a la reconstrucción didáctica.

Agregando a lo anterior, también se observó que los estudiantes que cursaron FE didácticamente reconstruida lograron mejorar su conocimiento sobre las estrategias de evaluación. En general, estos futuros docentes mostraron, en sus diseños de clase, que evalúan a lo largo de la propuesta para monitorear el progreso de las ideas de sus futuros estudiantes y actuar en consecuencia.

Por otro lado, no se visibilizan cambios en relación al conocimiento del currículum de los cursantes de FE. En una mirada general, tanto los estudiantes que cursaron FE didácticamente reconstruida como los que lo hicieron en su versión tradicional lograron que sus propuestas se ajusten a los contenidos prescriptos

por el diseño curricular jurisdiccional. No se ha considerado en el análisis de este punto, el nivel de alineación de las propuestas con las orientaciones para la enseñanza prescriptas por el diseño curricular, ya que las estrategias instruccionales se valoraron en otros ítems del CPC.

En esta misma línea, en general todos los estudiantes del profesorado, independientemente de qué tipo de cursada de FE tuvieron, muestran que intentan generar momentos de cierre o conceptualización en sus clases. En general, todo los cierres propuestos tienen relación con las actividades desarrolladas en las secuencias didácticas.

En este trabajo de tesis doctoral, no se logró que los estudiantes incorporaran en sus clases actividades para trabajar la Naturaleza de la Ciencia, ni actividades que apunten a que sus futuros estudiantes reflexionen sobre el proceso de aprendizaje. A lo largo de la cursada de FE de las cohortes 2022 y 2023 se incorporaron múltiples actividades que apuntaron a trabajar aspectos vinculados a la comprensión de los procesos de construcción del conocimiento científico. Además, los estudiantes en sus primeros años de carrera cursan asignaturas en las cuales se trabajan específicamente estos temas, como por ejemplo el espacio curricular denominado Producción Científica y Sociedad. Sin embargo, a la hora de elaborar sus propuestas los futuros docentes no consideraron relevante trabajar aspectos de la NdC. Queda para próximas investigaciones avanzar en el diseño de estrategias que fortalezcan esta dimensión del CPC en los futuros docentes.

En síntesis, este estudio muestra cómo desde las asignaturas disciplinares es posible fortalecer el conocimiento del profesor cuando éstas se diseñan en base a los resultados de investigación en didáctica de las ciencias. Trabajos cercanos a este como el de [Sperandeo-Mineo et al. \(2006\)](#), [Mäntylä and Nousiainen \(2014\)](#), [Rosa Cintas et al. \(2019\)](#) y [Abdurrahman \(2013\)](#) muestran resultados similares.

Entendemos que este estudio aporta a comprender en mayor detalle qué aspectos del Conocimiento del Profesor pueden verse fortalecidos desde las asignaturas disciplinares.

Además, y quizás lo más importante, se ha mostrado que aquellos **estudiantes que lograron apropiarse** en mayor medida **del discurso científico, lograron desarrollar un Conocimiento del Profesor más competente** en un contexto en el que la propuesta de enseñanza se orientó a partir de resultados de investigación didáctica. Los futuros docentes pudieron aprender sobre el contenido y sobre su enseñanza simultáneamente.

Este vínculo entre la Apropriación y el Conocimiento del Profesor abre nuevas preguntas para avanzar en la comprensión de las causas que dan lugar a esta relación. Entender cómo son los procesos de apropiación, qué filtros y amplificadores actúan en el aprendizaje sobre el contenido y sobre las estrategias de enseñanza,

nos ayudará a diseñar propuestas que permitan fortalecer en mayor medida el Conocimiento del Profesor de cada futuro docente. Y así contribuir humildemente, a mejorar el aprendizaje de cada estudiante en las aulas de física de nuestra región.

Bibliografía

- Abdurrahman, A. (2013). Identifikasi pedagogical content knowledge calon guru fisika melalui pembelajaran berbasis multirepresentasi. *Jurnal Pendidikan Progresif*, 3(2):88–97.
- Abell, S. K. (2008). Twenty years later: Does pedagogical content knowledge remain a useful idea? *International journal of science education*, 30(10):1405–1416.
- Abukari, M. A., Bayuo, J., Alagbela, A. A., and Bornaa, C. S. (2022). Pedagogical content knowledge of science tutors and its influence on their trainees. *Contemporary Mathematics and Science Education*, 3(1):ep22008.
- Aguiar, O. G., Mortimer, E. F., and 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.
- Alonzo, A. C., Kobarg, M., and Seidel, T. (2012). Pedagogical content knowledge as reflected in teacher–student interactions: Analysis of two video cases. *Journal of research in science teaching*, 49(10):1211–1239.
- Anijovich, R., Cappelletti, G., Sabelli, M. J., and Mora, S. (2021). *Transitar la formación pedagógica: dispositivos y estrategias*. Tilde editora.
- Aranzabal, J. G., Zubimendi, J. L., García, J. M. A., and Ceberio, M. (2008). Dificultades persistentes en el aprendizaje de la electricidad; estrategias de razonamiento de los estudiantes al explicar fenómenos de carga eléctrica. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 26(2):177–192.

- Bakhtin, M. (1981). *The dialogic imagination: Four essays*. Michael Holquist.
- Baki, M. and Arslan, S. (2022). Impact of lesson study on pre-service primary teachers' mathematical pedagogical content knowledge. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, pages 1–19.
- Barab, S. and Squire, K. (2004). Design-based research: Putting a stake in the ground. *The journal of the learning sciences*, 13:1–14.
- Becerra Labra, C., Gras Martí, A., Martínez-Torregrosa, J., et al. (2004). Análisis de la resolución de problemas de física en secundaria y primer curso universitario en Chile. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(2):275–286.
- Blanco-López, Á., Martínez Peña, M. B. d. R., and Jiménez-Liso, R. (2018). ¿ puede la investigación iluminar el cambio educativo? *Ápice. Revista de Educación Científica*, 21(2):15–28.
- Blanco Nieto, L. J. (1991). *Conocimiento y acción en la enseñanza de las matemáticas de profesores de EGB y estudiantes para profesores*. PhD thesis, Universidad de Sevilla. Departamento de Didáctica y Organización Educativa.
- Botha, H., Coetzee, C., Zweers, L., et al. (2023). Teaching measurement: The role of mathematics teachers' enacted pck on gain in learner outcomes. *Infinity Journal*, 12(2):307–322.
- Boz, Y. and Belge-Can, H. (2020). Do pre-service chemistry teachers' collective pedagogical content knowledge regarding solubility concepts enhance after participating in a microteaching lesson study?. *Science Education International*, 31(1):29–40.
- Butler, L., Nieva, C., Velasco, J., et al. (2021). La apropiación de la enseñanza y el aprendizaje de futuros docentes durante el curso de didáctica de la física. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(3):3601.
- Butt, R., Raymond, D., and Yamagishi, L. (1988). Autobiographic praxis: Studying the formation of teachers' knowledge. *Journal of curriculum Theorizing*, 7(4):87–164.
- Cao, Y. and Brizuela, B. M. (2016). High school students' representations and understandings of electric fields. *Physical Review Physics Education Research*, 12(2):020102.
- Carlson, J., Cooper, R., Daehler, K. R., Friedrichsen, P. J., Heller, J. I., Kirschner, S., Elliott, N. L., Marangio, K., Wong, N., Cooper, R., et al. (2019). Vignettes

- illustrating practitioners' and researchers' applications of the refined consensus model of pedagogical content knowledge. In *Repositioning pedagogical content knowledge in teachers' knowledge for teaching science*, pages 95–115. Springer.
- Carpendale, J. and Hume, A. (2019). Investigating practising science teachers' ppck and epck development as a result of collaborative core design. *Repositioning pedagogical content knowledge in teachers' knowledge for teaching science*, pages 225–252.
- Chan, K. K. H. and Hume, A. (2019). Towards a consensus model: Literature review of how science teachers' pedagogical content knowledge is investigated in empirical studies. *Repositioning pedagogical content knowledge in teachers' knowledge for teaching science*, pages 3–76.
- Ciscar, S. L. (1992). Los mapas cognitivos como instrumento para investigar las creencias epistemológicas de los profesores. In *La investigación sobre formación del profesorado: Métodos de investigación y análisis de datos*, pages 57–95. Editorial Cincel.
- Cobb, P., Confrey, J., DiSessa, A., Lehrer, R., and Schauble, L. (2003). Design experiments in educational research. *Educational researcher*, 32(1):9–13.
- Cobb, P., Gresalfi, M., and 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.
- Cochran-Smith, M. and Zeichner, K. M. (2009). *Studying teacher education: The report of the AERA panel on research and teacher education*. Routledge.
- Coetzee, C., Rollnick, M., and Gaigher, E. (2020). Teaching electromagnetism for the first time: A case study of pre-service science teachers' enacted pedagogical content knowledge. *Research in Science Education*, pages 1–22.
- Cohen, R., Eylon, B., and Ganiel, U. (1983). Potential difference and current in simple electric circuits: A study of students' concepts. *American journal of Physics*, 51(5):407–412.
- Collins, A. (1992). *Toward a design science of education*. Springer.
- Creswell, J. W. and Poth, C. N. (2016). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches*. Sage publications.
- Darling-Hammond, L., Hyler, M. E., and Gardner, M. (2017). *Effective teacher professional development*. Palo Alto, CA: Learning Policy Institute.

- De Ambrosis, A. and Levrini, O. (2010). How physics teachers approach innovation: An empirical study for reconstructing the appropriation path in the case of special relativity. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 6(2):020107.
- De Longhi, A. (2014). El conocimiento didáctico del profesor: una bisagra. *Didáctica general y didácticas específicas la complejidad de sus relaciones en el nivel superior (págs. 85-107)*. Villa María: Universidad Nacional de Villa María.
- De Longhi, A. L. and Rivarosa, A. (2015). Los nuevos estándares para la formación docente: reflexiones y tensiones. *Revista de Educación en Biología*, 18(2):pp-5.
- Dewey, J. (1938). *La théorie de l'enquête*. Paris: Presses Universitaires de France.
- DiSessa, A. and Cobb, P. (2004). Ontological innovation and the role of theory in design experiments. *The journal of the learning sciences*, 13:77–103.
- Dori, Y. J. and Belcher, J. (2005). How does technology-enabled active learning affect undergraduate students' understanding of electromagnetism concepts? *The journal of the learning sciences*, 14(2):243–279.
- Duque, J. (2022). *Propuesta de investigación-acción para formar a estudiantes de magisterio en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias como indagación. Primeros resultados*. PhD thesis, Universitat de València.
- Duschl, R., Maeng, S., and Sezen, A. (2011). Learning progressions and teaching sequences: A review and analysis. *Studies in Science Education*, 47(2):123–182.
- Engle, R. A. and Conant, F. R. (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.
- Espera, A. H. and Pitterson, N. P. (2019). Teaching circuit concepts using evidence-based instructional approaches: A systematic review. In *2019 ASEE Annual Conference & Exposition*.
- Etkina, E. (2010). Pedagogical content knowledge and preparation of high school physics teachers. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 6(2):020110.
- Faikhamta, C., Coll, R. K., and Roadrangka, V. (2009). The development of thai pre-service chemistry teachers' pedagogical content knowledge: From a methods course to field experience. *Journal of Science and Mathematics Education in Southeast Asia*, 32(1):18–35.

- Fernández, C. and Buforn, A. (2015). Un módulo de enseñanza centrado en desarrollar el conocimiento necesario para enseñar el razonamiento proporcional. *MT Tortosa; JD Álvarez & N. Pellín (Coords.), XIII Jornadas de Redes en Investigación en Docencia Universitaria: Nuevas estrategias organizativas y metodológicas en la formación universitaria para responder a la necesidad de adaptación y cambio*, pages 572–584.
- Fernández Pérez, M. (1994). *Las tareas de la profesión de enseñar: práctica de la racionalidad curricular: didáctica aplicable*. Siglo XXI de España Editores.
- Furci, V. M., Trinidad, O., and Peretti, P. L. (2022). Formación docente en física: La integración de campos del saber en el marco de articulación entre proyectos de formación, extensión e investigación.
- Galili, I. (1995). Mechanics background influences students' conceptions in electromagnetism. *International journal of science education*, 17(3):371–387.
- Gardner, A. L. and Gess-Newsome, J. (2011). A pck rubric to measure teachers' knowledge of inquiry-based instruction using three data sources. In *annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Orlando, Florida*.
- Gess-Newsome, J. (1999). Pedagogical content knowledge: An introduction and orientation. In *Examining pedagogical content knowledge: The construct and its implications for science education*, pages 3–17. Springer.
- Gess-Newsome, J. (2015). 3 a model of teacher professional knowledge and skill including pck. *Re-examining pedagogical content knowledge in science education*.
- Grossman, P. L. (1990). *The making of a teacher: Teacher knowledge and teacher education*. Teachers College Pr.
- Guisasola, J., Ametller, J., and Zuza, K. (2021). Investigación basada en el diseño de secuencias de enseñanza-aprendizaje: una línea de investigación emergente en enseñanza de las ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(1):1801.
- Guisasola, J., Barragués, J. I., Garmendia, M., et al. (2013). El máster de formación inicial del profesorado de secundaria y el conocimiento práctico profesional del futuro profesorado de ciencias experimentales, matemáticas y tecnología. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10:568–581.

- Guisasola Aranzabal, J., Ceberio Garate, M., Almudi Garcia, J. M., and Zubimendi Herranz, J. L. (2011). Problem solving by developing guided research in introductory university physics courses. *Enseñanza de las Ciencias*, 29(3):439–452.
- Güle, M. and Çelik, D. (2018). Uncovering the relation between ck and pck: An investigation of preservice elementary mathematics teachers' algebra teaching knowledge. *REDIMAT*, 7(2):162–194.
- Gunstone, R. F., Slattery, M., Baird, J. R., and Northfield, J. R. (1993). A case study exploration of development in preservice science teachers. *Science Education*, 77(1):47–73.
- Hamed, S., Ezquerro, Á., Porlán, R., and Rivero, A. (2020). Exploring preservice primary teachers' progression towards inquiry-based science learning. *Educational Research*, 62(3):357–374.
- Hammer, D. and Berland, L. K. (2014). Confusing claims for data: A critique of common practices for presenting qualitative research on learning. *Journal of the Learning Sciences*, 23(1):37–46.
- 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.
- Hashweh*, M. Z. (2005). Teacher pedagogical constructions: a reconfiguration of pedagogical content knowledge. *Teachers and teaching*, 11(3):273–292.
- Hauslein, P. L., Good, R. G., and Cummins, C. L. (1992). Biology content cognitive structure: From science student to science teacher. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(9):939–964.
- Hewson, P. (1993). Constructivism and reflective practice in science teacher education. *Las didácticas específicas en la formación del profesorado. Tórculo. Santiago*, pages 259–275.
- Ingersoll, C., Jenkins, J. M., and Lux, K. (2014). Teacher knowledge development in early field experiences. *Journal of Teaching in Physical Education*, 33(3):363–382.
- Jiménez-Aleixandre, M. P., Bugallo Rodríguez, A., and Duschl, R. A. (2000). “doing the lesson” or “doing science”: Argument in high school genetics. *Science education*, 84(6):757–792.

- Kartal, T., Ozturk, N., and Ekici, G. (2012). Developing pedagogical content knowledge in preservice science teachers through microteaching lesson study. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 46:2753–2758.
- Kuo, E. and Wieman, C. E. (2016). Toward instructional design principles: Inducing faraday’s law with contrasting cases. *Physical Review Physics Education Research*, 12(1):010128.
- Lagemann, E. C. and Shulman, L. S. (1999). *Issues in Educational Research: Problems and Possibilities*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Lederman, N. G., Gess-Newsome, J., and Latz, M. S. (1994). The nature and development of preservice science teachers’ conceptions of subject matter and pedagogy. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(2):129–146.
- Lee, E., Brown, M. N., Luft, J. A., and Roehrig, G. H. (2007). Assessing beginning secondary science teachers’ pck: Pilot year results. *School Science and Mathematics*, 107(2):52–60.
- Leonard William, J., Gerace, W., and Dufresne, R. (2002). Resolución de problemas basada en el análisis. hacer del análisis y del razonamiento el foco de la enseñanza de la física. *Enseñanza de las ciencias*, 20(3):387–400.
- Levrini, O., Fantini, P., Tasquier, G., Pecori, B., and Levin, M. (2015). Defining and operationalizing appropriation for science learning. *Journal of the Learning Sciences*, 24(1):93–136.
- Liso, M. R. J., Hernández, F. J. C., Chico, M. M., and López-Gay, R. (2021). Destrezas y obstáculos de un futuro docente en el diseño de una secuencia por indagación y modelización sobre los huesos. In *Enseñanza de las ciencias y problemas relevantes de la ciudadanía*, pages 337–348. Graó.
- Loughran, J., Milroy, P., Berry, A., Gunstone, R., and Mulhall, P. (2001). Documenting science teachers’ pedagogical content knowledge through papers. *Research in Science Education*, 31(2):289–307.
- Loughran, J. J., Berry, A., and Mulhall, P. (2006). *Understanding and developing science teachers’ pedagogical content knowledge*, volume 1. Brill.
- Mackay, J. and 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(2):131–144.

- Magnusson, S., Krajcik, J., and 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*, pages 95–132. Springer.
- Mäntylä, T. and Nousiainen, M. (2014). Consolidating pre-service physics teachers' subject matter knowledge using didactical reconstructions. *Science & Education*, 23:1583–1604.
- Marcelo, C. (1994). *Formación del profesorado para el cambio educativo*. PPU Barcelona.
- Martínez-Chico, M., Jiménez Liso, M. R., and López-Gay Lucio-Villegas, R. (2015). Efecto de un programa formativo para enseñar ciencias por indagación basada en modelos, en las concepciones didácticas de los futuros maestros. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(1):149–166.
- Mavhunga, E. (2019). Exposing pathways for developing teacher pedagogical content knowledge at the topic level in science. *Repositioning pedagogical content knowledge in teachers' knowledge for teaching science*, pages 131–150.
- Melo, L., Cañada-Cañada, F., González-Gómez, D., and Jeong, J. S. (2020). Exploring pedagogical content knowledge (pck) of physics teachers in a colombian secondary school. *Education Sciences*, 10(12):362.
- Melo Herrera, M. P. and Hernández Barbosa, R. (2014). El juego y sus posibilidades en la enseñanza de las ciencias naturales. *Innovación educativa (México, DF)*, 14(66):41–63.
- Merriam, S. B. and Tisdell, E. J. (2015). *Qualitative research: A guide to design and implementation*. John Wiley & Sons.
- Mertler, C. A. (2000). Designing scoring rubrics for your classroom. *Practical assessment, research, and evaluation*, 7(1):25.
- Michellini, M. (2004). Quality development in the teacher education and training. In *Girep book of selected papers, Forum, Udine*.
- Mulhall, P., McKittrick, B., and Gunstone, R. (2001). A perspective on the resolution of confusions in the teaching of electricity. *Research in Science Education*, 31(4):575–587.
- Nasar, A., Kaleka, M. B. U., and Alung, H. V. (2020). Applying the learner-centered micro teaching model for improving teaching confidence, attitudes

- toward teaching profession, and pedagogical content knowledge (pck) of physics education students. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 8(3):235–248.
- Nasir, N., Roseburry, N., Warren, B., and Lee, C. (2006). Learning as cultural process.(in) k. sawyer (ed.), the cambridge handbook of the learning science.
- Nieva, C. M., Buteler, L., and 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.
- Nilssen, V. L. (2010). Guided planning in first-year student teachers’teaching. *Scandinavian Journal of Educational Research*, 54(5):431–449.
- Nilsson, P. and Van Driel, J. (2010). Teaching together and learning together—primary science student teachers’ and their mentors’ joint teaching and learning in the primary classroom. *Teaching and Teacher Education*, 26(6):1309–1318.
- Ogunniyi, M. B. and Rollnick, M. (2015). Pre-service science teacher education in africa: Prospects and challenges. *Journal of Science Teacher Education*, 26(1):65–79.
- Orradre, M. N. C., Dima, G. N., de los Ángeles Hernández, M., and Bono, C. S. (2021). La microclase como un espacio de reflexión para un grupo de futuros docentes de química. *Revista de Enseñanza de la Física*, 33:165–171.
- Ottogalli, M. E. and Bermudez, G. M. Á. (2022). Mapeo de la integración de los componentes del cdc en docentes al enseñar biodiversidad en institutos de formación docente para la educación primaria. *Bio-grafía, Número Extraordinario*, pages 3363–3369.
- Oztay, E. S. and Boz, Y. (2022). Interaction between pre-service chemistry teachers’ pedagogical content knowledge and content knowledge in electrochemistry. *Journal of Pedagogical Research*, 6(1):245–269.
- Park, S., Jang, J.-Y., Chen, Y.-C., and Jung, J. (2011). Is pedagogical content knowledge (pck) necessary for reformed science teaching?: Evidence from an empirical study. *Research in Science Education*, 41:245–260.
- Patricio Pujalte, A., Bonan, L., Porro, S., and Adúriz-Bravo, A. (2014). Las imágenes inadecuadas de ciencia y de científico como foco de la naturaleza de la ciencia: estado del arte y cuestiones pendientes. *Ciência & Educação (Bauru)*, 20:535–548.

- Pekdağ, B., Dolu, G., Ürek, H., and Azizoğlu, N. (2021). Exploring on-campus and in real school classroom microteaching practices: The effect on the professional development of preservice teachers. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 19:1145–1166.
- Peşman, H. and Eryilmaz, A. (2010). Development of a three-tier test to assess misconceptions about simple electric circuits. *The Journal of educational research*, 103(3):208–222.
- Plomp, T. and Nieveen, N. (2009). An introduction to educational design research. enschede. *Netherlands Institute for curriculum development (SLO)*.
- Pomeroy, D. (1993). Implications of teachers' beliefs about the nature of science: Comparison of the beliefs of scientists, secondary science teachers, and elementary teachers. *Science education*, 77(3):261–78.
- Reagan, T. H. J., Claussen, S., and Lyne, E. A. (2020). Systematic review of rigorous research in teaching introductory circuits. *Reuleaux Undergraduate Research Journal*.
- Rinaudo, M. C. and Donolo, D. (2010). Estudios de diseño. una perspectiva prometedora en la investigación educativa. *Revista de Educación a Distancia (RED)*, (Recuperado a partir de <https://revistas.um.es/red/article/view/111631>):1–29.
- Rivero, A., del Pozo, R. M., Solís, E., Azcárate, P., and Porlán, R. (2017). Cambio del conocimiento sobre la enseñanza de las ciencias de futuros maestros. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 35(1):29–52.
- Rosa Cintas, S., Menargues Marcilla, M. A., Limiñana, R., Nicolás Castellano, C., Luján Feliu-Pascual, I., Colomer Barberá, R., Savall Alemany, F., García Lillo, J. A., Martínez-Torregrosa, J., and Alvarez-Herrero, J.-F. (2019). *Investigación en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias experimentales en el Grado de Maestro en Educación Primaria*. Universitat d'Alacant. Institut de Ciències de l'Educació.
- Sanmartí, N. (2002). Necesidades de formación del profesorado en función de las finalidades de la enseñanza de las ciencias. *Pensamiento Educativo, Revista de Investigación Latinoamericana (PEL)*, 30(1):35–60.
- Shulman, L. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard educational review*, 57(1):1–23.

- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational researcher*, 15(2):4–14.
- Shymansky, J. A., Woodworth, G., Norman, O., Dunkhase, J., Matthews, C., and Liu, C.-T. (1993). A study of changes in middle school teachers' understanding of selected ideas in science as a function of an in-service program focusing on student preconceptions. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(7):737–755.
- Smit, E., Tuithof, H., Savelsbergh, E., and Béneker, T. (2023). Geography teachers' pedagogical content knowledge: A systematic review. *Journal of Geography*, 122(1):20–29.
- Sperandeo-Mineo, R., Fazio, C., and Tarantino, G. (2006). Pedagogical content knowledge development and pre-service physics teacher education: A case study. *Research in Science Education*, 36:235–268.
- Steenstrup, S., dalle Rose, L. D., Jones, W., Tugulea, L., and van Steenwijk, F. (2002). Physics studies in europe; a comparative study. *European journal of physics*, 23(5):475.
- Sullivan, F. R. and Wilson, N. C. (2015). Playful talk: Negotiating opportunities to learn in collaborative groups. *Journal of the Learning Sciences*, 24(1):5–52.
- Syh-Jong, J. (2007). A study of students' construction of science knowledge: Talk and writing in a collaborative group. *Educational research*, 49(1):65–81.
- Tarciso Borges, A. and Gilbert, J. K. (1999). Mental models of electricity. *International journal of science education*, 21(1):95–117.
- Tobin, K., Tippins, D., and Gallard, A. (1994). Research on instructional strategies for science teachers. *Handbook of research on science teaching and learning*, pages 45–93.
- Udomkun, W., Khaokhajorn, W., and Suwannoi, P. (2018). Developing pre-service science teachers' pedagogical content knowledge through the activities of training program: Understanding & practice. *International Journal of Advanced Scientific Research and Management*, 3(1):10–15.
- UNESCO, O. (2012). Antecedentes y criterios para la elaboración de políticas docentes en américa latina y el caribe. *Recuperado de: http://portal.unesco.org/geography/es/ev.phpURL_ID=16493&URL_DO=DO_T OPIC&URL_SECTION*, 201.

- Vázquez-Alonso, Á. and Manassero-Mas, M. A. (2019). La educación de ciencias en contexto: Aportaciones a la formación del profesorado. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (46):15–37.
- Velasco, N. and Buteler, L. (2023). La incorporación de resultados de investigación didáctica en la enseñanza de la física: El caso del profesorado de la provincia de Córdoba. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 18(1):33–41.
- Velasco, N., Buteler, L., et al. (2023). Implicación productiva en la disciplina sobre circuitos eléctricos utilizando investigación basada en el diseño. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 20(2):2802.
- Velasco, N. and Gandolfo, N. (2022). Oportunidades brindadas por el currículo para el fortalecimiento del conocimiento pedagógico del contenido en los estudiantes del profesorado de física. *Revista de enseñanza de la física*, 34(1):41–50.
- Velasco, N., Gandolfo, N., and Buteler, L. (2021). La investigación basada en el diseño: una revisión en educación en física en Argentina. *Revista de Enseñanza de la Física*, 33:629–635.
- Viennot, L., Chauvet, F., Colin, P., and Rebmann, G. (2005). Designing strategies and tools for teacher training: The role of critical details, examples in optics. *Science Education*, 89(1):13–27.
- Wells, P. R., Goodnough, K., Azam, S., and Galway, G. (2023). Changes in high school distance education science teachers’ pedagogical content knowledge (pck) during remote lesson study. *Teacher Professional Learning through Lesson Study in Virtual and Hybrid Environments*, pages 203–222.
- Zanting, A., Verloop, N., Vermunt, J. D., and Van Driel, J. H. (1998). Explicating practical knowledge: An extension of mentor teachers’ roles. *European Journal of Teacher Education*, 21(1):11–28.
- 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*. PhD thesis, University of the Witwatersrand, Faculty of Humanities, School of Education.

CAPÍTULO 7

Anexos

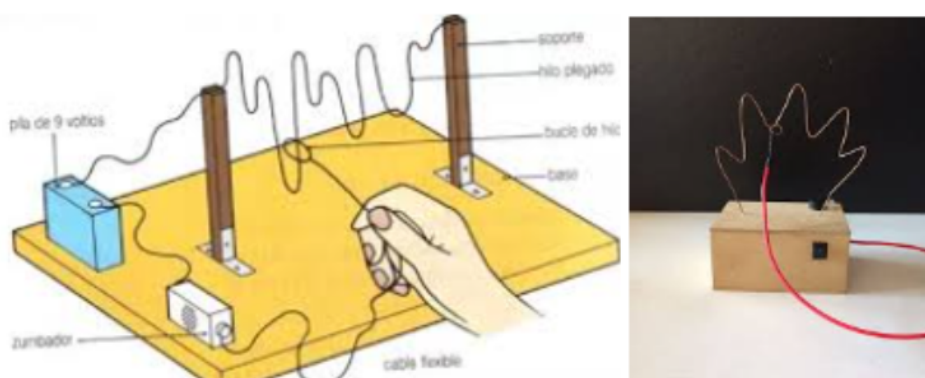
7.1. Anexo I: Secuencia de Enseñanza-Aprendizaje

Clase 1

Clase	1	Presentación del espacio de Fenómenos Electromagnéticos
Objetivos		<ul style="list-style-type: none">● Comprender los elementos de un circuito eléctrico simple● Aproximar a la noción de corriente eléctrica● Comprender a las cargas eléctricas como elementos que transportan energía● Aproximar a la noción de diferencia de potencial● Diferenciar a la intensidad de corriente eléctrica de la diferencia de potencial● Que los estudiantes reconozcan las unidades de medición de la intensidad de corriente eléctrica y del potencial eléctrico.
Ideas previas		<ul style="list-style-type: none">● Circuito monopolar● Circuito por choque de corrientes● Flujo de energía eléctrica es equivalente a intensidad de corriente eléctrica● Intensidad de corriente es equivalente a diferencia de potencial
Aprendizaje		<ul style="list-style-type: none">● Los circuitos eléctricos deben ser cerrados y con una fuente de energía● La intensidad de corriente eléctrica es la cantidad de cargas que atraviesan una sección del conductor por unidad de tiempo● La diferencia de potencial en un circuito eléctrico es la energía por unidad de carga

Problematización del Contenido

Se utilizará un juego llamado pulsómetro con el fin de motivar a los estudiantes y problematizar el contenido. 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, al mismo tiempo debe decir (su nombre y apellido, formación previa, situación laboral y académica). En caso de lograrlo adquirirá un “premio” que será un limón (que se utilizará en una próxima actividad); si no lo logra se encenderá una luz en el pulsómetro y debe comenzar nuevamente.



Actividad 1

El dispositivo que tienen en sus manos es un pulsómetro, con él analizaremos la calidad del pulso que cada uno de ustedes posee. Para ello cada uno debe tomar la argolla y completar el recorrido de ida y vuelta sin que la misma toque el alambre central. En caso de que toque el alambre se encenderá una luz que indicará la falla.

Nota: Se espera que la actividad motive a los estudiantes. Es probable que los estudiantes no comprendan el premio que reciben, pero es probable que despierte interés qué harán con ello. El pulsómetro tiene su circuito “escondido” como en la figura 2, por lo que los estudiantes desconocen a priori cómo es la conexión. No obstante, podrán advertir que es imprescindible el contacto de la argolla con el alambre de cobre para que se encienda la lámpara

Actividad para recabar las ideas previas

Una vez problematizado el contenido se les entrega a los estudiantes la próxima

actividad que pretende recabar sus preconcepciones sobre circuitos eléctricos. Esta actividad es individual en primera instancia.

Actividad 2
a- ¿Por qué se enciende la luz al tocar la argolla con el alambre? b- ¿Existe una fuente de energía? ¿Dónde se encuentra? c- Realice un esquema de las conexiones y/o lo que ocurre cuando se enciende la lámpara.

Nota: Se espera que la actividad arroje algunos de los modelos de circuitos eléctricos reportados en la literatura. Es importante que los estudiantes registren en papel su modelo para que luego puedan ponerlo en común y contrastarlo con el de sus compañeros.

Actividad para reutilizar las ideas previas

Las actividades de reutilización sirven para tensionar los modelos que tienen los estudiantes. El debate sobre la resolución de la actividad anterior es una instancia que invita a que cada estudiante exponga, argumente, y contraste sus ideas con los demás compañeros. Esto le sirve como instancia de reflexión sobre su preconcepción para hacerla más robusta o para desestimarla para optar otro modelo de otro estudiante que le resulte más convincente

Actividad 3
1) Cada uno compartirá sus respuestas y dibujaremos en la pizarra los esquemas que dibujaron en el punto 3. 2) Intentaremos analizar y debatir cuál de ellos podría ser el correcto. En caso tu respuesta se modifique a lo largo del debate, debes registrarla en tu cuaderno.

Nota: En el debate puede ocurrir que algún/nos estudiantes den la respuesta correcta, en ese caso favorecer las interpelaciones de otros estudiantes a los fines de que se fortalezca el modelo canónico y el resto de los modelos declinen por los argumentos dados por los estudiantes que dieron la respuesta correcta. Se debe evitar valorar positiva o negativamente los aportes de los estudiantes. El devenir del debate los aproxima al modelo canónico. En caso que el modelo canónico no surgiera entre los modelos expuestos por los estudiantes, se debe apuntalar el debate con preguntas que apunten a la reflexión sobre algún aspecto de los modelos más alejados al modelo canónico. Es importante aquí la orquestación del docente para conducir el foco de la discusión

Momento de Cierre

Luego del debate, se arriba a un consenso que se aproximaba al modelo canónico, que es un circuito bipolar cerrado. En esta instancia el docente toma lo discutido por los estudiantes y se dispone a mostrar el interior del pulsómetro. En la pizarra dibuja el circuito y lo compara con el modelo consensuado por la clase. En este momento es importante que los estudiantes registren el dibujo del modelo final, y anoten las características del mismo:

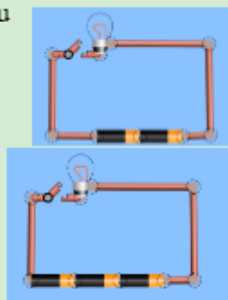
Un circuito consta de una fuente de energía, es bipolar y cerrado. El interruptor es un dispositivo que abre o cierra el circuito permitiendo el paso de la energía eléctrica.

Problematización del Contenido

Las actividades de laboratorio invitan a los estudiantes a un contacto estrecho con el fenómeno en donde pueden plantear hipótesis, revalorizando este hecho como actividad central de la investigación científica, susceptible de orientar el tratamiento de las situaciones y de hacer explícitas, funcionalmente, las preconcepciones de los estudiantes. Es por ello que se les propone a los estudiantes que con 2 de las baterías “ganadas” (1,5V) en la actividad anterior realicen el circuito de la figura. Finalmente se les pide que sumen una batería más al circuito y registren lo sucedido.

Actividad 4

- 1) Armar el circuito de la figura con 2 baterías. Registrar en su cuaderno el diseño de cada circuito y si la lámpara enciende .
- 2) Sumar una batería más al circuito (ver figura 2) y conectar nuevamente a la lámpara. Realizar un nuevo esquema de la experiencia y comparar los brillos de la lámpara.



Actividad para evaluar el progreso de las ideas previas

Si bien ya se ha escrito en el cuaderno de los estudiantes el modelo canónico de circuito eléctrico. Con las siguientes preguntas se pretende evaluar, en otro

contexto, si las preconcepciones de los estudiantes en relación a las características de un circuito eléctrico simple han progresado.

Actividad 5
<p>Debatan en grupo de 2 estudiantes las siguientes preguntas, registren sus respuestas en el cuaderno:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) ¿Son necesarios ambos cables para que se encienda la lámpara? ¿Por qué? 2) ¿Por qué en el primer caso la lámpara se enciende pero con menos brillo que en el segundo caso?

para el docente: Con la preguntas 1 se espera generar una nueva situación de tensión con los modelos unipolares que pueden aún persistir en los estudiantes. La pregunta 2 intenta direccionar a los estudiantes a pensar en cantidades de energía

Actividad para reutilizar las ideas previa

Es importante que los estudiantes contrasten sus ideas sobre por qué la lámpara enciende con distintos niveles de brillo, además de volver a discutir sobre la necesidad de que el circuito sea bipolar y cerrado. Esto probablemente brinde una oportunidad para hablar de flujo de energía

Actividad 6
<p>Compartir las respuestas con el resto de la clase. Comparen las razones con las que cada grupo argumenta lo ocurrido en la experiencia</p>

Nota para el docente: Los estudiantes habitualmente reconocen que existe un transporte de energía de la fuente a la lámpara. Con menor frecuencia lo asocian a cargas eléctricas. Es por ello que si en el debate no surge la necesidad de incorporar a las cargas eléctricas como agentes que transportan la energía el docente deberá aportar esa noción.

Actividad para reutilizar las ideas previa

Dado el carácter microscópico del fenómeno es importante utilizar diversos recursos para aproximar a los estudiantes al funcionamiento del mismo. Los simuladores ofrecen la posibilidad de adentrarse en el mundo microscópico. Es por ello que se les propone a los estudiantes la siguiente actividad.

Actividad 7

- 1) Ingresa al simulador phet.
https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab/latest/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab_es.html
- 2) ¿Qué ocurrirá si el circuito no se cierra? Corroborar tu respuesta con el simulador
- 3) Registren el sentido en el que se mueven las cargas en el circuito
- 4) ¿Se pierden cargas eléctricas al pasar por la lámpara?

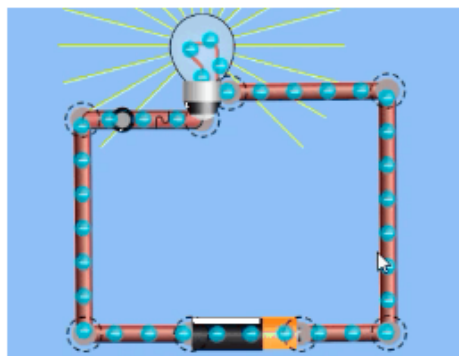
Nota: No se espera que de esta actividad surja un debate profundo, dado que la simulación provocará la contrastación de las respuestas dadas en los puntos 3 y 5. Además la actividad servirá para acercarse a las conclusiones del cierre de la clase.

Momento de Cierre

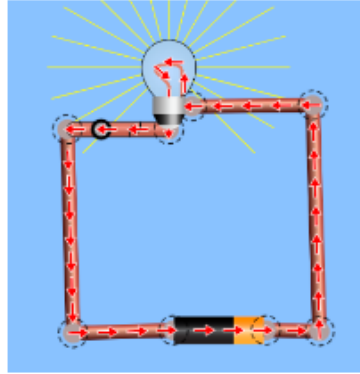
Luego del intercambio de las respuestas entre los estudiantes el docente recupera la palabra y aporta

En un circuito eléctrico, las cargas eléctricas son quienes transportan la energía desde la fuente hacia la lámpara o dispositivo que utiliza esa energía. Como muestra el siguiente video, las cargas eléctricas circulan en un sentido. Desde el polo - (negativo de la fuente) al polo + (positivo de la fuente). También es posible notar que las cargas eléctricas están presentes en todo el circuito y que, al conectarlas entran en circulación. Esto implica que también circulan en el interior de la batería

Circuito 1



Como se observa en la imagen, las cargas (electrones) se mueven desde el polo negativo de la batería al polo positivo. Sin embargo, la convención de circulación de corriente es a la inversa (de polo + al -) debido a que inicialmente se pensaba que las cargas que circulaban tenían carga eléctrica +.



Nota para el docente: Es importante resaltar que la carga eléctrica es un mero transportador, energía, NO es la energía misma. Caso contrario se podría reforzar la idea previa que las resistencias son sumideros de intensidad de corriente eléctrica.

Actividad para reutilizar las ideas previas

Dado el carácter microscópico del fenómeno, se recurre a un experimento pensado de índole macroscópico y se establece una analogía entre el circuito eléctrico y la experiencia

Actividad 8

Pensaremos en una situación que luego nos permitirá comprender mejor los circuitos eléctricos:

Dos equipos llamados los Azules y los Rojos compiten para ganar la copa. Cada equipo debe trasladar la mayor cantidad de arena posible, desde la montaña hasta el punto pactado en 2 minutos. El equipo Azul está formado por 3 personas mientras que el equipo Rojo por 6 personas. Los baldes que utiliza el equipo Azul para trasladar la arena son de 2 litros de capacidad, mientras que los del equipo Rojo son de 1 litro. Sólo es posible trasladar la arena en baldes y las personas corren a la misma velocidad aproximadamente aunque estén llevando carga.

- 1) ¿Quién crees que ganará la competencia?
- 2) Si los baldes del equipo Azul fueran de 3 litros ¿Podrías anticipar quién ganaría?
- 3) Si los baldes del equipo Azul fueran de 3 litros pero el equipo rojo tuviera 10 integrantes. ¿Podrías anticipar quién ganaría?
- 4) ¿Qué factores influyen en la cantidad de arena que se traslada en el tiempo acordado?

Con el fin de establecer un puente entre los circuitos eléctricos y la analogía para lograr la diferenciación entre corriente eléctrica y diferencia de potencial en un circuito eléctrico, y además, cómo éstas se relacionan con la energía utilizada en una unidad de tiempo, se les pregunta a los estudiantes: sabiendo que las cargas transportan energía ¿cómo sería posible trasladar mayor cantidad de energía en un mismo lapso de tiempo desde la fuente a la lámpara? y para seguir tensionando los modelos de circuitos monopolares ¿qué sucede con las cargas una vez que entregan la energía a la lámpara?

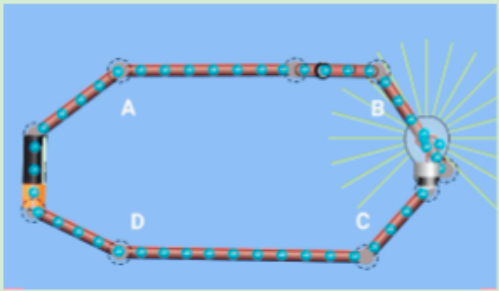
Actividad 9
1) Recuperando las conclusiones del punto 4 de la actividad 6 y sabiendo que en un circuito eléctrico las cargas transportan energía ¿cómo sería posible trasladar mayor cantidad de energía en un mismo lapso de tiempo desde la fuente a la lámpara? 2) ¿Qué sucede con las cargas una vez que entregan la energía a la lámpara?

Nota para el docente: en esta actividad algunos estudiantes pueden reconocer que para lograr llevar más energía es posible a- Llevar más unidades de carga por unidad de tiempo b -Aumentar la cantidad de energía que lleva cada carga Pero otros estudiantes pueden no evidenciar esto, puesto que consideran que la carga es la energía.

Actividad para evaluar el progreso de las ideas previas

Con el objetivo de analizar el progreso de las ideas de los estudiantes hacia el conocimiento normativo expuesto anteriormente. Se les presenta a los estudiantes la siguiente actividad:

Actividad 10
A) Retomemos la analogía con la que venimos trabajando (ver figura). Supongamos que cada persona puede llevar en su balde 3 litros de arena. Responde: <ol style="list-style-type: none"> 1) ¿Qué diferencia de cantidad de arena tendrán los baldes que pasan por el punto B con respecto a los que pasen por el punto C? 2) ¿Qué diferencia de cantidad de arena tendrán los baldes que pasan por el punto A con respecto a los que pasen por el punto B? 3) ¿Qué diferencia de cantidad de arena tendrán los baldes que pasan por el punto C con respecto a los que pasen por el punto D? 4) ¿Qué diferencia de cantidad de arena tendrán los baldes que pasan por el punto D y con respecto a los que pasen por el punto A?
B) Ahora pensemos en el siguiente circuito que se muestra en la figura:



- 5) ¿Qué cantidad de energía tienen las cargas en el punto B? ¿Y en C?
- 6) ¿Qué cantidad de energía tienen las cargas en el punto D? ¿Y en A?
- 7) ¿Qué diferencia de **energía** tendrán las **cargas** que pasan por el punto B con respecto a las que pasen por el punto C?
- 8) ¿Qué diferencia de **energía** tendrán las **cargas** que pasan por el punto A con respecto a las que pasen por el punto B?
- 9) ¿Qué diferencia de **energía** tendrán las **cargas** que pasan por el punto C con respecto a las que pasen por el punto D?
- 10) ¿Qué diferencia de **energía** tendrán las **cargas** que pasan por el punto D con respecto a las que pasen por el punto A?

Momento de Cierre

Luego del intercambio entre los estudiantes el docente recupera de los aportes de los estudiantes y suma la siguiente conceptualización:

En un circuito eléctrico la energía es transportada por las cargas eléctricas. La diferencia de energía que transporta cada carga en dos puntos distintos del circuito le llamaremos diferencia de potencial o voltaje y se mide en la unidad de Volt y la simbolizamos con ΔU .

La cantidad de cargas que pasan por una sección del circuito por unidad de tiempo, le llamaremos intensidad de corriente eléctrica o amperaje y se mide en la unidad de Ampere y la simbolizamos con i .

Entonces para el caso del circuito 1:

$$\Delta U = \frac{\Delta \text{Energía}}{q} \quad (\text{medido entre dos puntos del circuito})$$

$$\text{e } i = \frac{q}{t}$$

Como hemos anticipado en el circuito 1 la Potencia eléctrica o, lo que es lo mismo, la cantidad de energía que se utiliza en la lámpara depende de la diferencia de potencial en los terminales de la lámpara y de la intensidad de corriente, luego:

$$\Delta U \cdot i = \frac{\Delta \text{Energía}}{q} \cdot \frac{q}{t} = \frac{\Delta \text{Energía}}{t} = \text{Potencia Eléctrica}$$

Clase 2

Clase	2	Corriente Eléctrica y Diferencia de Potencia
Objetivos		<ul style="list-style-type: none"> • Que los estudiantes reconozcan las unidades de medición de la intensidad de corriente eléctrica y del potencial eléctrico. • Que los estudiantes reconozcan y utilicen los instrumentos de medición de la intensidad de corriente eléctrica y de diferencia de potencial. • Diferenciar a la intensidad de corriente eléctrica de la diferencia de potencial • Diferenciar la diferencia de potencial de la energía eléctrica
Ideas previas		<ul style="list-style-type: none"> • Flujo de energía eléctrica es equivalente a intensidad de corriente eléctrica • Intensidad de corriente es equivalente a diferencia de potencial • Circuito monopolar • Circuito por choque de corrientes • La lámpara es un sumidero de cargas • La energía eléctrica es equivalente a la diferencia de potencial • La corriente fluye entre puntos del circuito al mismo potencial
Aprendizaje		<ul style="list-style-type: none"> • En un circuito existirá corriente eléctrica si en dos puntos del mismo existe una diferencia de potencial • Utilización de un amperímetro y de un voltímetro

Actividad para evaluar las ideas previas

Para seguir evaluando el progreso de las ideas de los estudiantes se les propone la siguiente actividad. En el inciso 1) se pretende evaluar si las ideas sobre las características y componentes de un circuito simple están próximas al conocimiento normativo. En el segundo inciso se pretende evaluar si los estudiantes son capaces de diferenciar la intensidad de corriente eléctrica y la diferencia de potencial.

Actividad 1

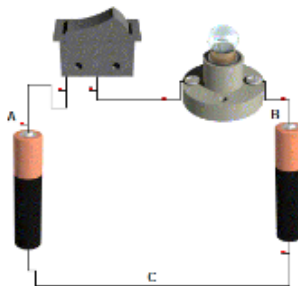
1) Di si la bombilla brillará en las siguientes situaciones. Marca el flujo de intensidad de corriente eléctrica

2) Teniendo en cuenta que todos los cargadores de celulares funcionan a 5V ¿Por qué algunos cargadores son de “carga rápida”? ¿Qué característica cambia en cada uno de ellos? ¿Podrías representar esta situación en términos de la analogía de la arena y los baldes que usamos en clases anteriores?

Problematización del Contenido

Actividad para evaluar las ideas previas

Con la intención de seguir abordando las concepciones previas de los estudiantes y fomentando la elaboración de hipótesis sobre los fenómenos que pongan en juego dichas ideas previas. Se les solicita a los estudiantes que realicen las conexiones como se muestra en el siguiente diagrama y antes de encenderlo respondan las siguientes preguntas:



Actividad 2

Responda a las siguientes preguntas antes de encender el circuito construido

1. ¿Existe una diferencia de potencial entre A y B?
2. ¿Fluirá la corriente eléctrica por la lámpara?
3. ¿Fluirá la corriente eléctrica por el cable C?

Actividad para tensionar las ideas previas

Una vez expuestas las anticipaciones de los estudiantes en relación a la experiencia se procede a ejecutar la experiencia y luego responder las preguntas de la actividad 3.

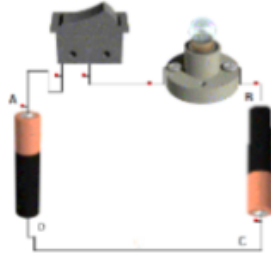
Actividad 3

Luego de realizar la pequeña experiencia responda individualmente y luego comparta sus respuestas con sus compañeros

- a- ¿Por qué no se enciende la lámpara?
- b- ¿Fluye corriente eléctrica por la lámpara?
- c- ¿Fluye corriente eléctrica por el cable C?
- d- ¿Existe alguna analogía entre estas conexiones y alguna de las conexiones analizadas en la actividad 1?

Nota: se espera que los estudiantes discutan y contrasten sus ideas, Primero en pequeños grupos (2 o 3) y luego con toda la clase. La pregunta d) intenta recuperar las respuestas dadas por los estudiantes en otro contexto y que les ayude a pensar sobre esta nueva situación.

Luego se les presenta a los estudiantes el mismo circuito pero con la pila de la izquierda invertida.



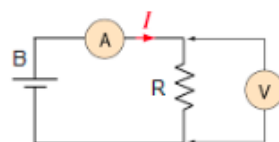
Actividad 4

Responda a las siguientes preguntas antes de encender el circuito construido

1. ¿Existe una diferencia de potencial entre A y B?
2. ¿Fluirá la corriente eléctrica por la lámpara?
3. ¿Fluirá la corriente eléctrica por el tramo CD?
4. ¿Existe una diferencia de potencial entre B y C?
5. ¿Existe una diferencia de potencial entre D y A?

Momento de Cierre

A continuación el docente les presenta a los estudiantes un medidor de corriente o Amperímetro y un medidor de diferencia de potencial o Voltímetro, y les comunica cómo deben conectarse en un circuito a la vez que establece las relaciones simbólicas entre los elementos de un circuito y su simbología.



A = Amperímetro R = Lámpara
 V = Voltímetro B = Batería
 I = Intensidad de Corriente

Actividad para tensionar las ideas previas

Posteriormente se les indica a los estudiantes que midan con el amperímetro y el voltímetro en la experiencia y respondan nuevamente los puntos.

Actividad 5
Ubique los elementos de medición y contraste sus respuestas de la actividad 3.

Actividad para evaluar el progreso de las ideas previas

Luego de compartir las respuestas desarrolladas por cada estudiante, se les solicita armar el siguiente circuito eléctrico. El mismo estará representado simbólicamente y los estudiantes deberán armarlo interpretando los significados de cada parte.

Actividad 6	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Armen el circuito representado en el siguiente diagrama, si el circuito se cierra (argumente sus respuestas): 2. ¿Encenderá la lámpara? 3. ¿Existirá diferencia de potencial entre los puntos A y B? 4. ¿Existirá diferencia de potencial entre los puntos B y C y entre C y D? 5. ¿Habrà diferencia de potencial entre los puntos E y D? ¿y entre A y E? 6. ¿Circulará la misma intensidad de corriente en los puntos A, C y D? 	<p>El diagrama muestra un circuito eléctrico con una batería en la parte superior izquierda, un interruptor en la parte superior central, una lámpara en la parte superior derecha, un resistor en la parte inferior derecha, y una batería en la parte inferior central. Los puntos A, B, C, D, E y F están marcados en los nodos del circuito.</p>

Luego se procede a encenderlo y repensar las respuestas de 2-5 para finalmente contrastarlas con las mediciones del voltímetro y del amperímetro

Momento de Cierre


El docente para cerrar la actividad recupera las respuestas de los estudiantes y lo registrado en las mediciones, enfatizando en la condición necesaria para que exista una corriente eléctrica debe haber una diferencia de potencial entre dos puntos

En un circuito existirá corriente eléctrica entre dos puntos si entre ellos existe una diferencia de potencial


Actividad para evaluar el progreso de las ideas previas

Actividad 7

1) ¿Por qué los pájaros no se electrocutan al posarse sobre los cables eléctricos ya que éstos están descubiertos?



2) ¿Es correcto que Homero se electrocute si su mano izquierda está agarrando el tronco de madera del árbol y la otra mano toca las latas, considerando que las latas al estar en contacto al cable están a un potencial de 220V y el árbol a un potencial de 0V por estar en contacto con tierra? ¿Por qué?



Clase 3

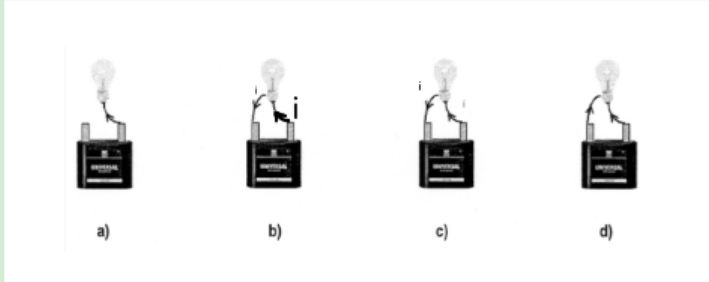
Clase	3	Ley de Ohm
Objetivos		<ul style="list-style-type: none"> • Que los estudiantes comprendan a la resistencia eléctrica como la relación entre Intensidad de corriente eléctrica, tensión eléctrica de un circuito. • Que los estudiantes comprendan la Ley de Ohm
Ideas previas		<ul style="list-style-type: none"> • La intensidad de corriente y la diferencia de potencial son variables independientes entre sí. • La energía eléctrica es equivalente a la intensidad de corriente eléctrica. • La intensidad de corriente es indistinguible a la diferencia de potencial. • La lámpara es un sumidero de cargas. • La batería es una fuente de cargas.
Aprendizaje		<ul style="list-style-type: none"> • El cociente entre la diferencia de potencial y la intensidad de corriente de un circuito eléctrico es una constante. • La ley de Ohm

Actividad para evaluar el progreso de las ideas previas

Actividad 1


A) Digan cuál de los siguientes enunciados considera que es una explicación correcta (cada explicación se corresponde con uno de los gráficos de abajo):

- La corriente sale de uno de los terminales de la batería y se consume en la bombilla
- La corriente sale de uno de los terminales de la batería, fluye a través de la bombilla y menos corriente vuelve a la batería a través del otro terminal
- La corriente fluye a través de la bombilla y es la misma corriente a lo largo de todo el circuito
- La corriente sale de ambos terminales de la batería y se consume en la bombilla



B) Se colocan tres baterías en un circuito como se muestra en el diagrama. Cuando el circuito se cierra y la bombilla brilla:

- ¿Fluye corriente a través de las baterías?
- Si es así, ¿qué batería tiene más flujo de corriente a través de ella?

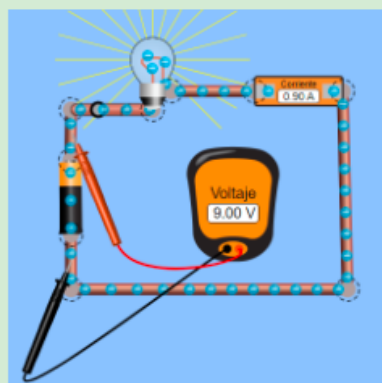


Actividad para recabar las ideas previas

Actividad 2

Observe el siguiente circuito y registre los valores de intensidad de corriente y de diferencia de potencial que se muestran.

- ¿Si aumenta la diferencia de potencial en la batería, aumentará, disminuirá o no cambiará la intensidad de corriente registrada en el amperímetro? ¿Por qué?
- ¿Si disminuye la diferencia de potencial en la batería, aumentará, disminuirá o no cambiará la intensidad de corriente registrada en el amperímetro? ¿Por qué?

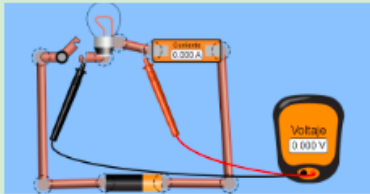


Actividad para tensionar las ideas previas

Se les propone a los estudiantes realizar una investigación utilizando el simulador Phet. Los estudiantes deben responder si la intensidad de corriente eléctrica es independiente a la diferencia de potencial.

Actividad 3
<p>En grupos de 4 estudiantes deberán realizar una investigación para responder al final de la clase la siguiente pregunta</p> <p style="text-align: center;">¿Son independientes la diferencia de potencial en los bornes de la lámpara y la intensidad de corriente que la atraviesa? Si existe algún tipo de relación ¿Podrían advertir si se trata de una relación lineal o no entre las variables?. Graficar</p> <p>Para ello utilizarán el simulador Phet, que les permitirá experimentar de forma virtual con circuitos eléctricos. Registren cada diseño y prueba que realicen. Esto sustentará sus conclusiones</p>

Nota: El docente deberá ir recorriendo los grupos, acompañando a cada grupo generando preguntas que redirija las pruebas de los estudiantes, aconsejando aspectos técnicos inherentes a los circuitos del simulador y enfatizando la necesidad de registrar cada prueba.

Actividad 4			
<p>1) Para intentar determinar qué tipo de relación, utilizando el simulador Phet, elaborar el siguiente circuito y completar las columnas 1, 2 y 3 de la tabla.</p>			
			
Intensidad de Corriente (i)	Diferencia de Potencial (ΔV)	$\frac{\Delta V}{i}$	Resistencia
A	9 V		Ω
A	18 V	10	Ω
2,6 A	26 V	10	10 Ω
3 A	30 V	10	10 Ω
<p>2) Para cada uno de los casos registre el valor de la "resistencia" en la unidad de ohms, y complete la cuarta columna.</p> <p>3) Realice dos tablas como la del punto 1) pero en un caso configuren para que la resistencia valga 20 ohms y en otro para que valga 30 ohms.</p> <p>4) Escribe la relación entre ΔV, i y R válida para todos los casos anteriores</p>			

Nota: Se espera que los distintos grupos puedan validar la expresión $V_i = R \cdot i$.

Momento de Cierre

El docente para cerrar la actividad recupera las respuestas de los estudiantes elaboradas a partir de sus experiencias y enuncia la Ley de Ohm.

En un circuito la diferencia de potencial entre los bornes de una resistencia es proporcional a la intensidad de corriente eléctrica que la atraviesa. La constante de proporcionalidad es el valor de la resistencia y le asignaremos la unidad de ohmio (Ω). Aclarar que existen conductores que cumplen con la siguiente expresión, llamados Óhmicos.

$$\text{Ley de Ohm: } \frac{\Delta V}{i} = R$$


Actividad para evaluar el progreso de las ideas previas las ideas previas

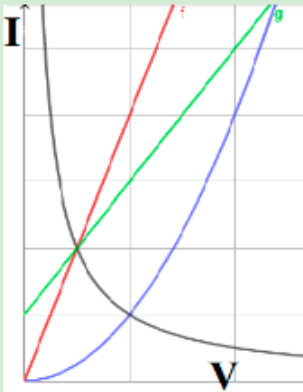
Luego de las conclusiones arribadas en las actividades anteriores, y de la conceptualización realizada por el docente, se les propone a los estudiantes la siguiente actividad para valorar lo aprendido.

Actividad 5

1) Se tiene el circuito de la figura el cual posee una batería a la cual se le puede ajustar la diferencia de potencial entre sus bornes.

¿Cuál de las siguientes curvas representa mejor el vínculo entre la intensidad de corriente eléctrica que atraviesa la lámpara y la diferencia de potencial entre sus bornes? ¿Por qué?





Clase 4


Clase	4	Resistencia Eléctrica
Objetivos		<ul style="list-style-type: none"> • Que los estudiantes recuperen la relación entre la diferencia de potencial de un circuito eléctrico y la corriente que transita por él. • Que los estudiantes visualicen similitudes entre el flujo de agua debido a una diferencia de altura entre dos tanques • Que los estudiantes visualicen la relación entre las variables que interviene en la resistencia de un elemento
Ideas previas		<ul style="list-style-type: none"> • La intensidad de corriente y la diferencia de potencial son variables independientes entre si. • La energía eléctrica es equivalente a la intensidad de corriente eléctrica. • La intensidad de corriente es indistinguible a la diferencia de potencial. • La lámpara es un sumidero de cargas. • La batería es una fuente de cargas.
Aprendizaje		<ul style="list-style-type: none"> • Resistividad de un material • Relación entre el largo de un material, su sección y la resistencia del mismo

Actividad para evaluar el progreso las ideas previas de los estudiantes

Se les entrega a los estudiantes el siguiente gráfico con relaciones entre la diferencia de potencial y la corriente eléctrica, ellos deben decidir cuál de ellas la representa mejor.

Actividad 1

1) Observa la siguiente representación de un circuito que no tiene conectada una fuente. Notar que los algunos electrones en el conductor se mueven libremente entre los núcleos de los átomos que conforman el conductor y no hay un flujo neto de cargas. https://javalab.org/en/electric_current_en/



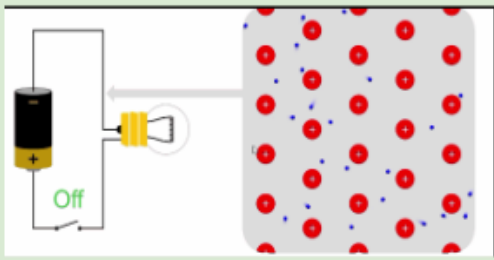
a) ¿La lámpara se encenderá?
 b) ¿Qué les ocurrirá a las cargas eléctricas si conectamos una batería al circuito?
 c) ¿Y si conectamos 2 baterías? ¿y si fuesen 3?
 d) Realice las pruebas en el simulador y contraste con sus respuestas

Actividad para recabar y tensionar las ideas previas de los estudiantes

Se les entrega a los estudiantes una representación animada del modelo de Drude para circuitos eléctricos. Luego de analizar las características del material conductor y de la resistencia, se procede a preguntarles a los estudiantes si estiman que el comportamiento de los electrones libres será igual en ambos casos al cerrar el circuito.

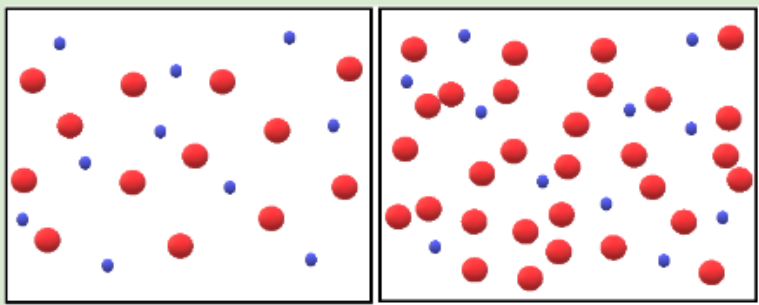
Actividad 2

A continuación se les muestra un modelo del comportamiento de los electrones libres en el tramo del cable conductor de un circuito. Noten que los electrones se mueven de forma caótica y rebotan en los núcleos de los átomos debido a la temperatura a la que se encuentra el material, sin efectivizar un desplazamiento neto.



En la resistencia los electrones se mueven de la misma manera que en el cable. A continuación se les muestra un modelo microscópico de dos resistencias

Resistencia 1 Resistencia 2



En grupos de 2 estudiantes respondan:

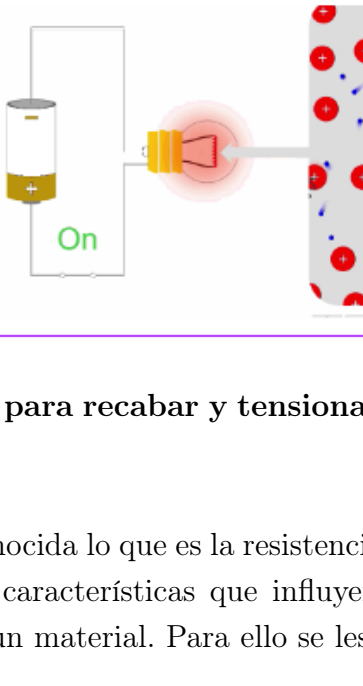
- 1) ¿Qué les ocurrirá a los electrones libres de la resistencia 1 si aplico una diferencia de potencial entre sus terminales?
- 2) ¿Qué les ocurrirá a los electrones libres de la resistencia 2 si aplico una diferencia de potencial entre sus terminales?
- 3) ¿Consideran que fluirán con la misma facilidad los electrones libres de la resistencia 1 en comparación de la resistencia 2? ¿Por qué?
- 4) Luego de debatir con el resto de las clase las preguntas anteriores, accedan al enlace https://www.youtube.com/watch?v=c6K-kDzhAnA&ab_channel=PhysicsClassVideos vean el video e intenten responder a la pregunta del minuto 2.51

Nota: Es esperable que los estudiantes respondan que los electrones chocan en mayor medida con los núcleos atómicos positivos de la resistencia 2 en comparación a la 1. Algunos estudiantes podrían no anticipar esto y el video puede ser un elemento esclarecedor. No obstante luego de trabajar con el simulador el docente expondrá las conclusiones obtenidas.

Momento de Cierre

El docente para cerrar la actividad recupera las respuestas de los estudiantes elaboradas a partir de sus experiencias y enuncia

La Resistencia Eléctrica es la oposición o dificultad al paso de la corriente eléctrica. Cuanto más se opone un elemento de un circuito a que pase por él la corriente, más resistencia va a tener. La resistencia eléctrica se mide en Ohmios (Ω) y se representa con la letra R. En la resistencia las cargas pierden energía que se transforma en otro tipo de energía, como por ejemplo calor.

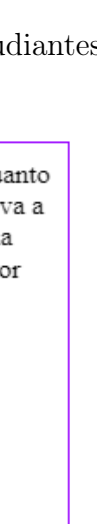


Actividad para recabar y tensionar las ideas previas de los estudiantes

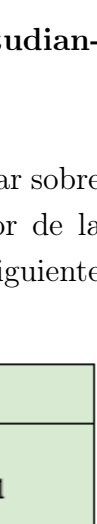
Una vez conocida lo que es la resistencia eléctrica es importante avanzar sobre cuáles son las características que influyen en la determinación del valor de la resistencia de un material. Para ello se les propone a los estudiantes la siguiente actividad

Actividad 3

1) En la imagen se muestran dos resistencias de distintos materiales de iguales dimensiones. Los puntos negros intentan representar la estructura atómica del material. Podría anticipar cuál de ellos tendrá mayor resistencia ¿Por qué?




Material 1

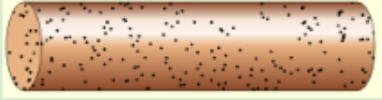


Material 2

2) En la imagen se muestran dos resistencias del mismo material e igual sección pero una más larga que la otra. Podría anticipar cuál de ellos tendrá mayor resistencia ¿Por qué?

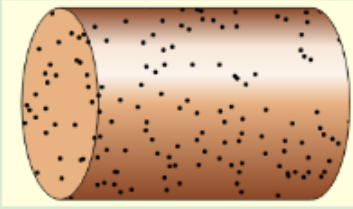


Resistencia 1

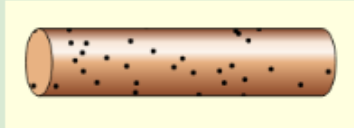


Resistencia 2

3) En la imagen se muestran dos resistencias del mismo material e igual longitud pero de distintas secciones. Podría anticipar cuál de ellos tendrá mayor resistencia ¿Por qué?



Resistencia 1



Resistencia 2

4) Debatir con el resto de la clase las respuestas obtenidas

Nota: Se espera que del intercambio de los estudiantes puedan surgir la relación entre las variables de las cuales depende la resistencia de un objeto conductor. Será importante que el docente plasme en la pizarra las conclusiones obtenidas.

Momento de Cierre

El docente para cerrar la actividad recupera las respuestas de los estudiantes elaboradas a partir de sus experiencias y enuncia

La Resistencia Eléctrica depende del material por el cual está formado (resistividad), del largo y de la sección del mismo. La relación entre las variables intervinientes en el valor de Resistencia de un material es:

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A}$$

Donde ρ es la resistividad del material que se mide en Ohm.m, L es el largo del objeto medido en m y A es el área o sección del material.

En el siguiente simulador podremos visualizar esta relación

https://phet.colorado.edu/sims/html/resistance-in-a-wire/latest/resistance-in-a-wire_es.html

La conductividad eléctrica (símbolo σ) es la medida de la capacidad de un material o sustancia para dejar pasar la corriente eléctrica a través de él.1

La conductividad es inversa de la resistividad (símbolo ρ); por tanto, $\sigma = \frac{1}{\rho}$, y su unidad es el S/m (siemens por metro) o $\Omega^{-1} \cdot m^{-1}$.

Actividad para evaluar el progreso de las ideas previas las ideas previas

Luego de las conclusiones arribadas en las actividades anteriores, y de la conceptualización realizada por el docente se les propone a los estudiantes realizar la siguiente actividad:

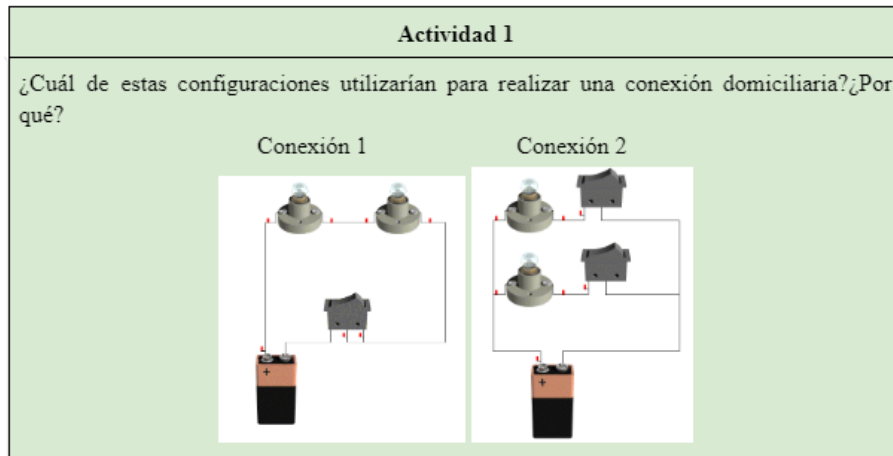
Actividad 4
<p>1) Lean atentamente el fragmento del paper publicado por Davy en 1821. Luego respondan</p> <ol style="list-style-type: none"> a) ¿Cuáles son los aportes/descubrimientos que Davy reporta en este fragmento del artículo? b) ¿Estás de acuerdo con todos ellos? ¿Por qué? c) Diseñen una experiencia que les permita validar sus afirmaciones d) Realicen las mediciones correspondientes y analicen las respuestas brindadas en el punto b). En caso de haber alguna modificación en sus respuestas, anoten cuáles serían sus nuevas afirmaciones

Clase 5

Clase	5	Circuito en Serie y Paralelo - Potencia eléctrica
Objetivos		<ul style="list-style-type: none"> • Que los estudiantes descubran empíricamente el comportamiento de las variables intervinientes en un circuito eléctrico en serie y en paralelo. • Que los estudiantes comprendan el concepto de resistencia equivalente y visualicen su deducción matemática a partir de las características observadas en las variables intervinientes. • Que los estudiantes recuperen el concepto de potencia y lo apliquen en circuitos eléctricos
Ideas previas		<ul style="list-style-type: none"> • La lámpara es un sumidero de cargas. • A mayor cantidad de resistencias en un circuitos mayor es la resistencia equivalente a ellas, independientemente de qué tipo de circuito se trate
Aprendizaje		<ul style="list-style-type: none"> • Potencia eléctrica • Resistencia equivalente en circuito en serie y en paralelo • Conservación de la intensidad de corriente en una malla de un circuito. • Conservación de la energía en un circuito de más de una resistencia

Problematización del contenido

El docente trae al curso dos tipos circuitos formado por dos lámparas idénticas cada uno como se muestran en la figura, y les pregunta a los estudiantes



Nota: es posible que los estudiantes respondan en relación a la imposibilidad de cerrar el circuito y no sobre el análisis de las caídas de potencial de cada uno de los circuitos. Esto no debe alarmar al docente puesto que en la actividad siguiente se trabajará ese aspecto.

Actividad para recabar las ideas previas

Luego de las conclusiones arribadas en las actividades iniciales de la clase, y de debatir la actividad 2. Se procede a realizar la siguiente actividad que pretende tensionar las ideas previas de los estudiantes en relación al funcionamiento de las circuitos en serie y paralelo.

Actividad 2

- 1) ¿Las corrientes que atraviesan el punto A, el punto C y la pila de la conexión 1 son iguales?
- 2) ¿Las corrientes que atraviesan el punto A, el punto C y la pila de la conexión 2 son iguales?
- 3) ¿La intensidad de corriente que atraviesa la pila en cada circuito, son de la misma magnitud?
- 4) ¿La diferencia de potencial antes y después de cada lámpara de la conexión 1 será la misma?
- 5) ¿La diferencia de potencial antes y después de cada lámpara de la conexión 2 será la misma?
- 6) Suponga que en el circuito 1 se agrega una lámpara más como se muestra en la figura. La intensidad de corriente que atraviesa cada circuito será igual, menor o mayor que la que tenía cuando el circuito tenía dos lámparas?
- 7) Suponga que en el circuito 2 se agrega una lámpara más como se muestra en la figura. La intensidad de corriente que atraviesa cada circuito será igual, menor o mayor que la que tenía cuando el circuito tenía dos lámparas?
- 8) Construyan cada uno de los circuitos, registren los valores necesarios para responder a las preguntas del punto 1 y comparen con las conclusiones obtenidas anteriormente.

Nota: Se pretende recabar con las preguntas 1, 4 y 5 las ideas previas vinculadas con la

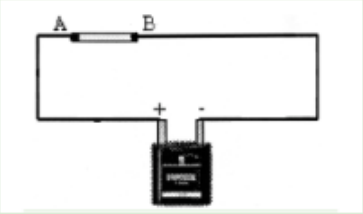
discontinuidad de la carga. Por otro lado la pregunta 2 pretende recabar la idea previa en relación a la resistencia equivalente de un circuito como la suma de las resistencias que lo conforman.

Actividad para tensionar las ideas previas

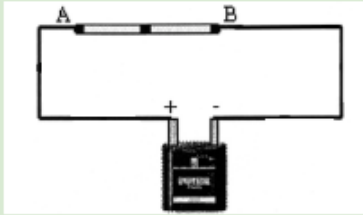
La clase comienza recuperando lo aprendido en clases anteriores para el progreso de las ideas previas

Actividad 1

1) Tenemos una barra de metal A – B con resistencia, conectada a una batería por dos cables conductores de resistencia despreciable. ¿Hay alguna diferencia potencial entre los pares de puntos A y B? ¿Cómo se relaciona con la intensidad de corriente que atraviesa por la pila?



2) Tomamos una barra del mismo metal pero del doble de longitud como muestra la figura. ¿La resistencia de la barra de metal de este caso es igual, menor, o mayor a la del punto 2)? ¿Por qué? ¿La intensidad de corriente que atraviesa la pila es igual, mayor o menor que en el punto anterior?



3) Ahora esa misma barra de metal se divide en el medio, generando los segmentos A-C y D-B, que se conectan mediante un cable conductor como se muestra en la figura.

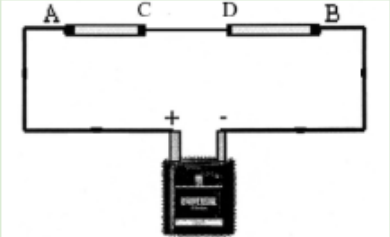
a) ¿La resistencia total de ambos trozos de la barra de metal es igual, menor, o mayor a la del punto 2)? ¿Por qué?

b) ¿La diferencia de potencial entre los puntos A y B de este caso tendrá la misma diferencia de potencial que en los puntos A y B del ejercicio anterior?

c) ¿La intensidad de corriente que atraviesa la pila será mayor, menor o igual que en el punto anterior? ¿Por qué?

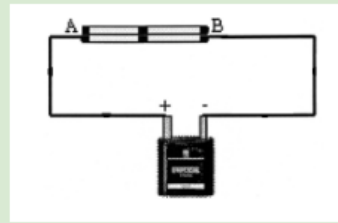
d) ¿La intensidad de corriente que pasa por la resistencia AC de las resistencias será mayor, menor o igual a la que atraviesa la pila? ¿Y en comparación a la que atraviesa la resistencia del tramo DB?

e) ¿Si se agrega un trozo extra del mismo metal al circuito como muestra la figura, la resistencia de total del tramo A-B aumentará, disminuirá o no cambiará? ¿Por qué?



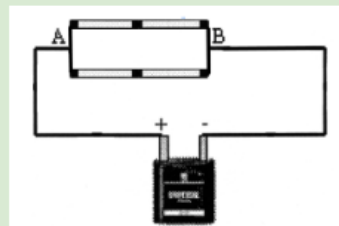
4) Consideremos ahora que al metal del punto 2) le duplicamos la sección, como muestra la figura.

- La diferencia de potencial entre los puntos A y B será igual, mayor o menor a la registrada en el punto 2) ¿Por qué?
- La intensidad de corriente que pasa por el punto A de esta nueva situación será igual, mayor o menor que en el caso 3. ¿Por qué?
- La resistencia de la nueva barra de metal será igual mayor o menor que en el punto 2. ¿Por qué?



5) Ahora considere el siguiente circuito formado por dos resistencias iguales a las del punto 2), conectadas como se muestra en la figura.

- ¿La diferencia de potencial entre los puntos A y B crecerá, permanecerá igual o disminuirá en comparación al punto 4.? ¿Por qué?
- ¿La intensidad de corriente que pasa por el punto A de esta nueva situación será igual, mayor o menor que en el caso del punto 4.? ¿Por qué?
- ¿La resistencia total de ambas barras de metal será igual mayor o menor que la de la barra de metal del punto 4)? ¿Por qué?
- ¿La intensidad de corriente que pasa por una de las resistencias será mayor, menor o igual a la que atraviesa la pila?



Momento de Cierre

El docente para cerrar la actividad recupera las respuestas de los estudiantes elaboradas a partir de sus experiencias, hace un listado de cada una de ellas:

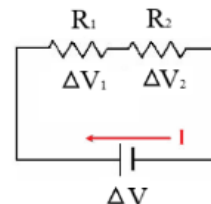
En la clase de hoy hemos estudiado dos tipos de conexiones: La conexión 1 es conocida como **en serie** y la conexión 2 **en paralelo**.

Circuito en serie

En un circuito en serie los componentes están conectados en cadena, uno detrás de otro.

Características de un circuito en serie:

- La intensidad de corriente eléctrica que pasa por todos los componentes es la misma.
Esto significa que si quitamos o abrimos un componente, los demás componentes tampoco tendrán corriente y no funcionarán.
- La diferencia de potencial de la pila se divide entre los componentes conectados en serie. Esto significa que las bombillas se iluminan menos cuando están en serie que en paralelo si se conectan a la misma pila



Entonces:

$$\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2$$

$$I R_{eq} = I_1 R_1 + I_2 R_2 \quad , \text{ (pero } I = I_1 = I_2 \text{). Entonces}$$

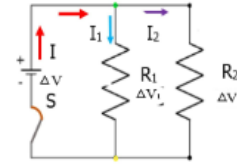
$$R_{eq} = R_1 + R_2 \text{ para un circuito en serie de 2 resistencias}$$

Circuito en paralelo

En un circuito paralelo los componentes están conectados entre sí por ambos lados.

Características de un circuito en paralelo:

1. La diferencia de potencial eléctrica que llega a todos los componentes es la misma. Esto significa que las bombillas tienen todas se iluminan al máximo posible con esa pila.
2. La intensidad de corriente que pasa por la pila se divide entre los componentes conectados en paralelo. Por lo tanto, por las bombillas circulará una corriente menor que por la pila.



Entonces:

$$I = I_1 + I_2$$

$$\Delta V/R_{eq} = \Delta V_1/R_1 + \Delta V_2/R_2 \quad , \text{ (pero } \Delta V = \Delta V_1 = \Delta V_2 \text{). Entonces}$$

$$1/R_{eq} = 1/R_1 + 1/R_2 \text{ para un circuito en paralelo de 2 resistencias}$$

Actividad para evaluar el progreso de las ideas previas

Se les propone a los estudiantes hacer una mirada retrospectiva a lo realizado y analizar las conclusiones elaboradas en un principio y las formuladas en última instancia.

Actividad 4
1) ¿Qué ocurrirá con la resistencia equivalente en cada tipo de circuito si estuviese formado por tres resistencias? ¿Por qué?

Clase 6

Clase	6	Circuitos eléctricos
Objetivos		<ul style="list-style-type: none"> • Que los estudiantes visualicen que las Leyes de Kirchhoff se desprenden de aplicar el principio de conservación de energía en circuitos cerrados • Que los estudiantes apliquen las leyes de Kirchhoff para la resolución de circuitos eléctricos.
Ideas previas		<ul style="list-style-type: none"> • La lámpara es un sumidero de cargas. • La batería es una fuente de cargas. • La carga no se conserva en un nodo
Aprendizaje		<ul style="list-style-type: none"> • Potencia eléctrica • Conservación de la intensidad de corriente en una malla de un circuito. • Conservación de la energía en un circuito de más de una resistencia

Actividad para evaluar el progreso de las ideas previas

Debido a que las leyes de Kirchhoff son otra manera de analizar el comportamiento de la corriente eléctrica y de la diferencia de potencial a lo largo de un circuito, las ideas previas involucradas son las mismas que las de la clase anterior.

Actividad 1

Observa el circuito de abajo formado por tres lámparas iguales y una fuente de 12V y responde:

a) ¿Por cuál de las lámparas circulará mayor intensidad de corriente eléctrica? ¿Por qué?

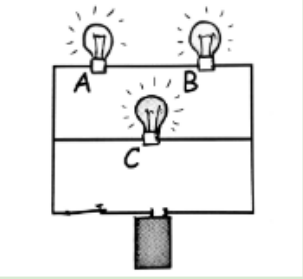
i) $i_A = i_B < i_C$
 ii) $i_A = i_B = i_C$

b) ¿La intensidad de corriente que atraviesa la pila será igual, menor o mayor que la suma de las corrientes que atraviesa cada rama del circuito?

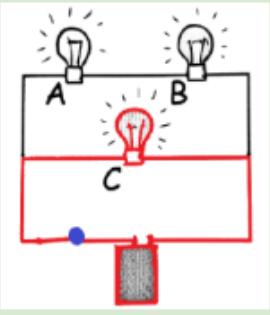
c) ¿La corriente que llega a la pila y que sale de la misma son iguales?

d) ¿Qué sucederá con la intensidad de corriente que circula por la lámpara B si se retira la lámpara A del circuito? ¿Y con la intensidad de corriente que pasa por la lámpara C? ¿Y por la intensidad de corriente que pasa por la batería?

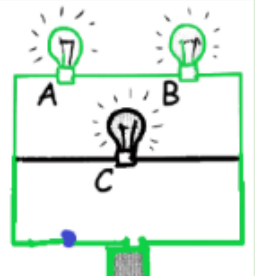
e) ¿Qué sucederá con la intensidad de corriente que circula por la lámpara A si se retira la lámpara C del circuito? ¿Y con la intensidad de corriente que pasa por la lámpara B? ¿Y por la intensidad de corriente que pasa por la batería?



f) Imagine una carga que pasa por el punto violeta, recorre todo el circuito resaltado en rojo y vuelve a pasar por el punto rojo. ¿La diferencia entre la cantidad de energía que tiene la carga entre la primera pasada y la segunda es mayor, menor o igual a cero?



g) Imagine una carga que pasa por el punto violeta, recorre todo el circuito resaltado en verde y vuelve a pasar por el punto rojo. ¿La diferencia entre la cantidad de energía que tiene la carga entre la primera pasada y la segunda es mayor, menor o igual a cero?



Actividad para evaluar tensionar de las ideas previas

Luego de compartir la respuestas de los estudiantes , debatirlas y arribar a un consenso se procede a la siguiente actividad

Actividad 2

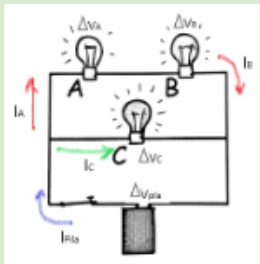
1) Arme en el simulador Phet el circuito de la actividad anterior. Realicen las mediciones correspondientes para validar o refutar las conclusiones elaboradas en el punto anterior

2) Registre en la siguiente tabla los valores medidos en cada caso:

Caso 1

ΔV_A	ΔV_B	ΔV_C	ΔV_{Pila}

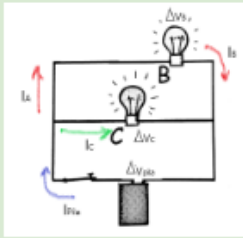
I_A	I_B	I_C	I_{Pila}



Caso 2

ΔV_A	ΔV_B	ΔV_C	ΔV_{Pila}

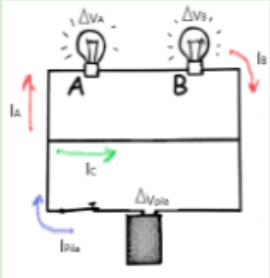
I_A	I_B	I_C	I_{Pila}



Caso 3

ΔV_A	ΔV_B	ΔV_C	ΔV_{Pila}

I_A	I_B	I_C	I_{Pila}



3) Contraste los resultados obtenidos con lo escrito inicialmente por cada uno y con el consenso elaborado con la clase.

4) Verifique los siguientes postulados con las mediciones realizadas:

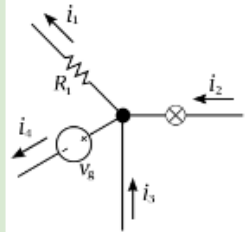
a)

“En cualquier nodo, la suma de las corrientes que entran en ese nodo es igual a la suma de las corrientes que salen. De forma equivalente, la suma de todas las corrientes que pasan por el nodo es igual a cero”

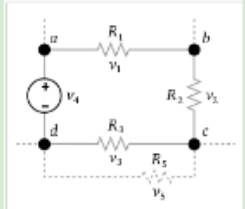
$$\sum_{k=1}^n I_k = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n = 0$$

b)

“En un circuito cerrado, la suma de todas las caídas de tensión es igual a la tensión total suministrada. De forma equivalente, la suma algebraica de las diferencias de potencial eléctrico en un circuito es igual a cero.”

$$\sum_{k=1}^n V_k = V_1 + V_2 + V_3 \dots + V_n = 0$$


La corriente que entra a un nodo es igual a la corriente que sale del mismo. $i_1 + i_2 = i_3 + i_4$



Ley de tensiones de Kirchhoff, en este caso $v_4 = v_1 + v_2 + v_3$. No se tiene en cuenta a v_5 porque no forma parte de la malla que estamos analizando.

Momento de Cierre

El docente para cerrar la actividad recupera las respuestas de los estudiantes elaboradas a partir de sus experiencias, hace un listado de cada una de ellas:

Primera ley: Ley de corriente de Kirchhoff

La ley de corriente de Kirchhoff o primera ley está basada en la ley de la conservación de la carga, lo cual implica que la suma algebraica de las cargas dentro de un sistema no puede cambiar.

“Estableciendo en la ley de corriente de Kirchhoff (o LCK por sus siglas) que, la suma algebraica de las corrientes que entran a un nodo es cero.”

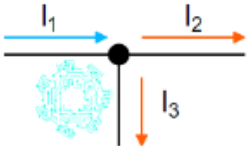
$$\sum_{n=1}^N i_n = 0$$

Esto se puede expresar matemáticamente como,

Donde:

- N = Número de ramas conectadas al nodo.
- i_n = n-ésima corriente que entra o sale del nodo.

De acuerdo a la ley de corriente de Kirchhoff (LCK), se pueden considerar positivas o negativas las corrientes que entran a un nodo, siempre y cuando las corrientes que salen de ese nodo se tomen con el signo opuesto a las corrientes que entran al mismo nodo.



Segunda ley: Ley de voltaje de Kirchhoff

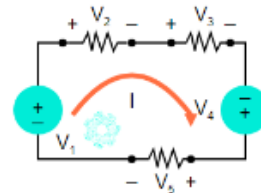
La ley de voltaje de Kirchhoff o segunda ley está basada en el principio de conservación de la energía, lo cual implica que la suma algebraica de la energía producida dentro de un sistema siempre permanece constante.

“Estableciendo en la ley de voltaje de Kirchhoff (o LTK por sus siglas) que, la suma algebraica de las tensiones en una trayectoria cerrada (o malla) es cero.”

Esto se puede expresar matemáticamente como,

Donde:

- M = Número de tensiones presentes en la malla.
- V_m = m-ésima tensión en la malla.



De acuerdo a la ley de voltaje de Kirchhoff (LTK), se pueden considerar positivas o negativas las tensiones presentes en una malla, esto depende de la polaridad que se le asigne a cada tensión y del sentido de la corriente en cada malla, ya sea en sentido de las manecillas del reloj o en sentido contrario.

Actividad para evaluar el progreso de las ideas previas

Se les propone a los estudiantes hacer una mirada retrospectiva a lo realizado y analizar las conclusiones elaboradas en un principio y las formuladas en última instancia.

Actividad 3

1) **Calcula la intensidad de corriente en cada rama del siguiente circuito:**
Sol: 3,5 A; -1 A; 2,5 A

2) Realiza las actividades del siguiente [enlace](#)

Clase 7

Clase	7	Guía de trabajo sobre circuitos eléctricos
Objetivos		<ul style="list-style-type: none"> • Que los estudiantes visualicen que las Leyes de Kirchhoff se desprenden de aplicar el principio de conservación de energía en circuitos cerrados • Que los estudiantes apliquen las leyes de Kirchhoff para la resolución de circuitos eléctricos.
Ideas previas		<ul style="list-style-type: none"> • La lámpara es un sumidero de cargas. • La batería es una fuente de cargas. • A mayor cantidad de resistencias en un circuitos mayor es la resistencia equivalente a ellas, independientemente de qué tipo de circuito se trate • La intensidad de corriente y la diferencia de potencial son variables independientes entre sí. • La energía eléctrica es equivalente a la intensidad de corriente eléctrica. • La intensidad de corriente es indistinguible a la diferencia de potencial. •
Aprendizaje		<ul style="list-style-type: none"> • Potencia eléctrica • Conservación de la intensidad de corriente en una malla de un circuito. • Conservación de la energía en un circuito de más de una resistencia • Ley de Ohm • Leyes de Kirchhoff •

Actividad para evaluar el progreso de las ideas previas

Se les propone a los estudiantes resolver las siguientes actividades en forma conjunta en grupos de a pares. Luego se compartirán las resoluciones y se debatirá sobre lo realizado por cada grupo

Actividad 1

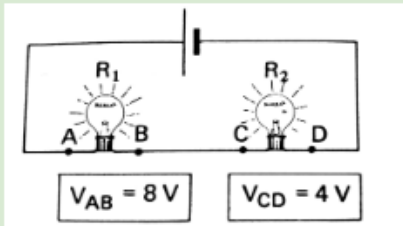
1) La figura de este ejercicio muestra dos focos, cuyos filamentos poseen resistencias R_1 y R_2 , conectadas a los polos de una batería. Observando la figura, responda:

La corriente que pasa por R_1 ¿es mayor, menor o igual a la que pasa por R_2 ?

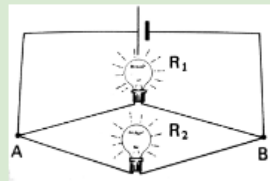
El valor de la resistencia R_1 ¿es mayor, menor o igual al de la resistencia R_2 ?

La resistencia total del circuito ¿es mayor, menor o igual a R_1 ?

¿Cuánto vale la diferencia de potencial existente entre los polos de la batería?



- 2) Los dos focos del ejercicio anterior se conectaron de la manera indicada en la figura de este ejercicio, a una
- 3) batería que mantiene entre sus polos una diferencia de potencial de 6V.

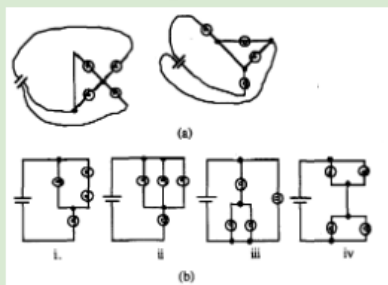


- ¿Cuál es la diferencia de potencial en R1? ¿Y en R2?
- La corriente que pasa por R1 ¿es mayor, menor o igual a la que pasa por R2?
- La resistencia total del circuito ¿es mayor, menor o igual a R1?
- 4) Dos bombillas tienen una potencia de 100W y 25W (para una fuente de alimentación estándar de 120 V) están conectadas en serie entre sí y con una fuente de alimentación ideal de 20 V. Cual de las siguientes afirmaciones son correctas sobre el brillo relativo de las bombillas suponiendo que sus resistencias son constantes.
- La bombilla de 100W será más brillante.
- La bombilla de 25W será más brillante.
- Las bombillas serán igualmente brillantes.
- Inicialmente, serán igualmente brillantes, pero después de unos minutos la bombilla de 100W estará más brillante
- Ninguna de las anteriores

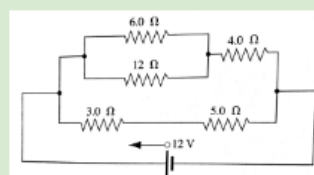
- 5) Dos bombillas tienen resistencias de 200 Ω y 500 Ω . Están conectadas en paralelo a una fuente de alimentación ideal de 20 V. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es correcta acerca del brillo relativo de las bombillas?

- La bombilla de 200 Ω será más brillante.
- La bombilla de 500 Ω será más brillante.
- Las bombillas serán igualmente brillantes.
- Inicialmente, serán igualmente brillantes pero después de unos minutos la bombilla de 200 Ω será
- más brillante
- Ninguna de las anteriores

- 6) Indique a qué representación b corresponden los circuitos dibujados en a.



- 7) Si las lámparas del ejercicio anterior fuesen de la misma potencia, ordenarlas en función del brillo que tendrán en cada caso.
- 8) Una persona necesita generar una resistencia de 20 ohms, pero sólo dispone de resistores de 40 ohms. ¿Cómo puede combinarlos para lograr la resistencia deseada?
- 9) Un circuito que contiene cinco resistores conectados a una batería de 12V como se muestra en la figura. Calcular la diferencia de potencial en el resistor de 5 ohms.



Clase 8

Clase	8	Efecto Joule
Objetivos		<ul style="list-style-type: none"> • Que los estudiantes puedan establecer la relación entre la corriente eléctrica y el calor disipado en una resistencia. • • Que los estudiantes puedan diferenciar las características de un circuito real de uno ideal. • Que los estudiantes reconozcan el carácter evolutivo del conocimiento científico • Que los estudiantes verifiquen experimentalmente el postulado de Joule.
Ideas previas		<ul style="list-style-type: none"> • Los cables de un circuito son conductores ideales.
Aprendizaje		<ul style="list-style-type: none"> • Efecto Joule. Calor disipado por un conductor por el cual atraviesa una corriente eléctrica

Actividad para recabar y tensionar las ideas previas

Se les propone a los estudiantes la siguiente situación problematizadora que pretende recabar las ideas previas de los estudiantes.

Actividad 1

Juan tiene una casa un un patio grande. En el fondo del mismo construyó un quincho. Toda la instalación eléctrica de la casa y del quincho se realizaron con el mismo tipo de cable ($1,5\text{mm}^2$). En la casa de Juan la tensión es de 220V y el consumo promedio del quincho es de 10A. ¿Es esperable que en el quincho la tensión sea la misma, sabiendo que la distancia entre la casa y el quincho es de 160 metros? ¿Por qué? b. ¿El cable de cobre tiene una resistencia asociada? ¿Por qué?

Es esperable que algunos estudiantes no adviertan la caída de tensión producida en el cable que une la casa con el quincho a pesar de que han trabajado en clases anteriores la resistencia de un conductor. Otros estudiantes podrán recordar lo trabajado y la discusión podría generar la alineación de las ideas en dirección al conocimiento canónico.


Para contrastar las respuestas anteriores, se les propone a los estudiantes medir y calcular la resistencia del cable de cobre y además, calcularla.

Actividad 2
<ol style="list-style-type: none"> 1) En la mesa tienen un cable de 60 m al cual deben medir la resistencia. Además deben calcular de modo la resistencia de ese cable. 2) Modelizar la situación correspondiente a la Actividad 1 y determinar: <ol style="list-style-type: none"> a) La caída de tensión en el cable b) La energía disipada en un delta t c) ¿cómo se disipa esa energía?

Con la actividad 2 se recuperará lo trabajado en clases anteriores y se podrá avanzar con la pregunta c) Para ello se les entregará a los estudiantes un fragmento del paper de Joule en el cual establece la relación entre la intensidad de corriente eléctrica y el calor disipado en el conductor por el que circula.

Actividad 3
<ol style="list-style-type: none"> 1) Lee atentamente el texto publicado por Joule 2) Realiza un esquema y una descripción con tus palabras del montaje experimental 3) Cuáles son los aportes que Joule expone en este artículo.

Momento de Cierre

 **Fórmula de la Ley de Joule**

Para comprender mejor el tema de la Ley de Joule, podemos analizar la fórmula que utilizaremos para resolver los diversos ejercicios que expondremos aquí mismo. Matemáticamente nuestra expresión es de esta forma:

$$W = I^2 R t$$

Dónde:

W = Cantidad de Calor (expresada en Joules)

I = Intensidad de Corriente (expresada en Amperes)

R = Resistencia Eléctrica (expresada en Ohms)

t = Unidad de tiempo (expresado en segundos)

Actividad para

Se les presenta a los estudiantes el siguiente problema para evaluar el progreso de las ideas previas


Actividad 4

1) Considere el circuito de la figura formado por una lámpara . Determinar cuál de las opciones para la caída de potencial (ΔV) en la lámpara es correcta si la fuente es de 9V

a) $\Delta V = 9V$

b) $\Delta V < 9V$

c) $\Delta V > 9V$



2) Una empresa que fabrica pavas eléctricas desea disminuir a la mitad el tiempo en el cual calienta el agua. Diseñar posibles soluciones para lograr ese objetivo

3) Leer el texto [“El fin de las bombillas incandescentes”](#). Con la información que les brinda el texto y los datos provistos de su propia investigación completen la tabla comparando las lámparas.


	Lámpara Led	Lámparas Halógena	Lámpara incandescente
Vida útil			
Energía lumínica			
Energía calórica transformada			
Ahorro económico			

4) Indicar cuál de las lámparas posee mayor resistencia eléctrica y por cuál de ellas circulará mayor cantidad de intensidad de corriente.

Clase 9

Clase	9	Resistencia Interna de una batería
Objetivos		<ul style="list-style-type: none"> • Que los estudiantes puedan diferenciar las características de un circuito real de uno ideal • Que los estudiantes evidencien la resistencia interna de una batería. • Que los estudiantes visualicen los alcances del modelo estudiado
Ideas previas		<ul style="list-style-type: none"> • La batería como fuente infinita de potencia. • La batería como fuente de cargas.
Aprendizaje		<ul style="list-style-type: none"> • Las baterías tienen una resistencia interna que debe ser considerada en la resolución de un circuito eléctrico

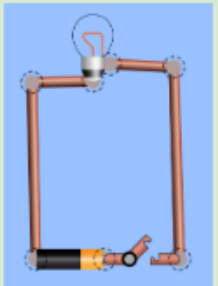
Actividad para recabar las ideas previas

Actividad 1	
<p>1) Considere el siguiente circuito y responda</p> <p>a- Si la masa de un electrón es de 9×10^{-28} g aproximadamente y su carga $-1,6 \times 10^{-19}$ C. Luego de que el circuito, por el que circulan 5A, funcione durante 10 minutos ¿cuál debería ser la variación de la masa de la batería (Δm). i) $\Delta m = 0,017$mg; ii) $\Delta m > 0,017$mg; iii) $\Delta m = 0$mg. Justifique</p> <p>b- Si la resistencia del cable es despreciable y es posible ir disminuyendo la resistencia de la lámpara, es esperable que cuando R tienda a cero la intensidad de corriente tienda a: i) infinito; ii) a un valor constante; iii) cero</p>	

La actividad a) tiene el propósito de recabar la idea previa de la batería como fuente de carga. Si los estudiantes persisten con la idea previa es esperable que seleccionen la opción i) o ii). Esta actividad será realizada en pequeños grupos y luego compartida con toda la clase, por lo que es probable que se tensione esta idea en el debate. La actividad b está destinada a recabar la segunda idea previa presentada en esta clase. Dado el modelo que se viene trabajando es esperable que los estudiantes opten por la opción i)

Actividad para tensionar las ideas previas

Para tensionar la idea previa que podría emerger de la actividad 1 a) se propone la siguiente actividad:

Actividad 2	
<p>1) Realice las conexiones en el simulador para confeccionar un circuito como el de la figura. En funcionamiento presione el ícono "Mostrar corriente" e indique en qué momento considera que la batería pierde masa debido al flujo de electrones.</p> <p>2) Discuta con sus compañeros el punto anterior y vuelva a considerar su respuesta de la actividad 1a.</p>	

Se espera que la actividad permita que las ideas de los estudiantes sobre la batería como fuente de cargas progrese. Para evaluar el progreso de forma oral el docente les preguntará a los estudiantes

Actividad para evaluar el progreso de las ideas previas

Actividad 3

Observa este posteo que se obtuvo de la [web](#) y argumenta tu posición en relación a la pregunta

¿El peso de una batería cambia según su carga?

Todas las relacionadas (33) Ordenar Recomendado

Artemio Molina
Productor publicitario independiente anterior · El autor tiene 3,4 K respuestas y 816,3 K visitas a sus respuestas · 2 años


Claro amigo... no es mucho pero es medible, una batería cargada posee mas electrones (y spin) porque estos tienen peso y masa, en acumuladores de automovil acido- plomo, una vez cargados aumentan un peso promedio de 80grs.

1 ↓ ↻ 🗨 ➦

Actividad para tensionar las ideas previas

Para problematizar y tensionar la idea previa que podría emerger de la actividad 1 b) se propone la siguiente actividad

Actividad 4



Es sabido que la primera batería (12V de alarma) no puede hacer arrancar un vehículo pero la segunda sí aunque ofrezcan la misma diferencia de potencial (12V de automóvil).

- 1) ¿Por qué ocurre? ¿Existe una potencia máxima que puede entregar la batería?
- 2) Recordando que la potencia eléctrica está determinada por $P = I \cdot V$ o $P = V^2/R$. ¿Cuál de los elementos del circuito limitan la potencia máxima que las baterías entregan?
- 3) Realiza una tabla y registra para distintos voltajes la intensidad de corriente que circula en el circuito elaborado que te ha otorgado el docente
- 4) Obtiene el valor de R del circuito y compárala con la resistencia de la lámpara
- 5) Si existe una diferencia entre la resistencia calculada y la resistencia de la lámpara ¿a qué elemento puede estar asociada la diferencia?

Se comparten las conclusiones obtenidas, se espera que los estudiantes puedan arribar a la existencia de una resistencia interna en la batería. Para enfatizar sobre esto el docente expondrá

Momento de Cierre

La resistencia interna, en definitiva, es un concepto que ayuda a imaginar las consecuencias eléctricas de las complejas reacciones químicas que se producen dentro de una batería. Es imposible medir directamente la resistencia interna de una batería, pero ésta puede ser calculada mediante los datos de corriente y voltaje medidos sobre ella. Así, cuando a una batería se le aplica una carga, la resistencia interna se puede calcular mediante cualquiera de las siguientes ecuaciones:

$$R_B = \left(\frac{V_S}{I} \right) - R_L$$

o también,

$$R_B = \left(\frac{V_S - V}{I} \right)$$

Actividad para evaluar el progreso de las ideas previas

Actividad 5
<p>1) "Hemos estudiado que en un circuito en paralelo si se modifica la resistencia conectada en una de las ramas no afecta la intensidad de corriente en las restantes ramas del circuito"</p> <p>Analicen la veracidad o falsedad de la afirmación anterior considerando que el circuito está conectado a una batería real.</p> <p>2) ¿Por qué en las baterías de los autos indican la intensidad de corriente que es capaz de entregar?</p>

Clase 10

Clase	10	Controversia Galvani-Volta
Objetivos		<ul style="list-style-type: none"> • Ubicar históricamente a los fenómenos abordados en la clase • Que los estudiantes puedan reconocer que el conocimiento científico es transitorio • Reconocer la importancia de la pila de Volta en el devenir del progreso del conocimiento científico
Ideas previas		<ul style="list-style-type: none"> • Flujo de energía eléctrica es equivalente a intensidad de corriente eléctrica • Intensidad de corriente es equivalente a diferencia de potencial • La Ciencia carece de discusiones y sólo se basa en descubrimientos unipersonales de teorías y principios. • La Conocimiento científico no es un producto cultural • El conocimiento científico es verdadero y atemporal
Aprendizaje		<ul style="list-style-type: none"> • En algún momento de la historia la electricidad era concebida como un fluido y se discutía si era de origen animal • La intensidad de corriente eléctrica es la cantidad de cargas que atraviesan una sección del conductor por unidad de tiempo • La diferencia de potencial en un circuito eléctrico es la energía por unidad de carga • Rasgos de la Naturaleza de la Ciencia

Problematización del Contenido

Para problematizar el contenido se les presenta una la controversia Galvani - Volta, de esta forma será posible evaluar sus ideas sobre la noción de diferencia de potencial eléctrico y corriente eléctrica a la vez que se muestra una Ciencia más humana, activa y controversial.

Actividad para evaluar las ideas previas

Se les proporciona a los estudiantes el siguiente documento sobre la controversia Volta-Galvani y junto con él un cuestionario que resolverán de manera individual

Actividad 1
<p>Luego de leer el material provisto responda las siguientes preguntas:</p> <p>1- ¿Cuáles fueron los indicadores que llevaron a Galvani a concluir en sus postulados?</p> <p>2- ¿Por qué existía una diferencia de potencial entre la rana y el cuadro de Franklin en el experimento de la Figura 2 c)?</p> <p>2- ¿Qué aspectos de lo realizado por Galvani no fueron convincentes para Volta y lo llevaron a realizar nuevas pruebas?</p> <p>3- ¿Cuáles fueron los argumentos que Volta presentó contra la idea de Galvani?</p> <p>4- ¿Cuáles de los rasgos de la Naturaleza de la Ciencia visualizas en el texto? ¿Por qué?</p> <ul style="list-style-type: none"> ● El valor experimental en la construcción del conocimiento ● La naturaleza humana de la ciencia ● Las controversias como forma de construcción del conocimiento ● Carácter provisional y evolutivo de la ciencia ● Relación Ciencia -Sociedad

Lueo de compartir y debatir las respuestas del punto anterior, se construye en clase una pila de Volta, se conectará una lámpara de 1,5v y se les pedirá a los estudiantes que registren el brillo de la lámpara a medida que la pila tiene más elementos.

Actividad 2
<p>A) Construiremos la pila de Volta expuesta en el texto, registren en sus cuadernos la intensidad de corriente y la diferencia de potencial entre los extremos, y el nivel de brillo de la lámpara:</p> <p>B) Luego respondan:</p> <p>1- Identifiquen analogías entre la pila de Volta y la construcción realizada con los limones.</p> <p>2- ¿Podrías asegurar que la Potencia Eléctrica consumida en la lámpara aumenta a medida que la pila de Volta tiene más elementos? ¿Por qué?</p>

Momento de Cierre

Luego del intercambio entre los estudiantes el docente recupera de los aportes de los estudiantes y suma la siguiente caracterización de la evolución del conocimiento científico:

La Ciencia no evoluciona siempre de manera lineal, tal como lo refleja el famoso método científico. Si no que la evolución del conocimiento puede ocurrir a partir de controversias, discusiones y consensos. Los modelos aceptados por la comunidad científica están en constante cambio y evolución. El conocimiento científico es dinámico y transitorio.

7.2. Anexo II - Parcial

Fenómenos Electromagnéticos

Primer Parcial

Circuitos Eléctricos

Criterios de evaluación

- Manejo cualitativo y cuantitativo de los contenidos estudiados.
- Claridad en la redacción de las respuestas.
- Calidad de la reflexión sobre los contenidos abordados.

➤ **Selecciona la respuesta correcta y argumenta brevemente tu elección.**

- 1) Supongamos que tenemos un circuito con una resistencia A como muestra la figura de la izquierda. Si a ese circuito se le agrega la resistencia B como muestra la figura de la derecha, ¿cambia la potencia disipada en la resistencia A?

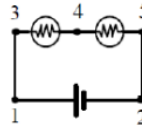
- A. Si, crece la potencia disipada en A
 B. Si, decrece la potencia disipada en A
 C. No, se mantiene igual que cuando la resistencia B no estaba



insegur@ poco segur@ segur@ muy segur@

- 2) Ordene de mayor a menor las diferencias de potenciales entre los puntos 1 y 2, 3 y 4, y 4 y 5 (considere ambas resistencias iguales).

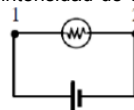
- A. $\Delta V_{12} > \Delta V_{34} > \Delta V_{45}$
 B. $\Delta V_{12} > \Delta V_{45} > \Delta V_{34}$
 C. $\Delta V_{34} > \Delta V_{45} > \Delta V_{12}$
 D. $\Delta V_{34} = \Delta V_{45} > \Delta V_{12}$
 E. $\Delta V_{12} > \Delta V_{34} = \Delta V_{45}$



insegur@ poco segur@ segur@ muy segur@

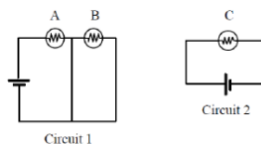
- 3) Compare la intensidad de corriente que pasa por el punto 1 (i_1) y la intensidad de corriente que pasa por el punto 2 (i_2). ¿En cuál punto la intensidad de corriente es mayor?

- A. i_1 , será mayor
 B. i_2 , será mayor
 C. Ninguno, son iguales i_1 y i_2 y tienen el mismo sentido
 D. Ninguno, son iguales i_1 y i_2 y tienen distinto sentido



insegur@ poco segur@ segur@ muy segur@

- 4) Compare los brillos de las lámparas A y B del circuito 1 con el brillo de la lámpara C en el circuito 2. ¿Cuál de la/s lámpara brillará más? (Considerar que todas las lámparas son iguales y las baterías de cada circuito también)

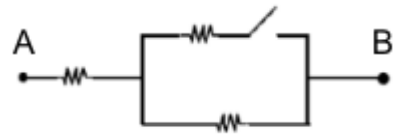


- A. La lámpara A
- B. La lámpara B
- C. La lámpara C
- D. La lámpara A y la lámpara B
- E. La lámpara A y la lámpara C

insegur@
 poco segur@
 segur@
 muy segur@

5) ¿Cómo cambia la resistencia total entre los puntos A y B cuando el switch se cierra?

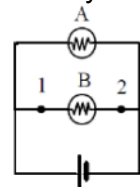
- A. Crece
- B. Decrece
- C. Permanece invariante



insegur@
 poco segur@
 segur@
 muy segur@

6) ¿Qué le ocurre a la diferencia de potencial entre los puntos 1 y 2 si la lámpara A es removida y el circuito queda abierto en ese lugar?

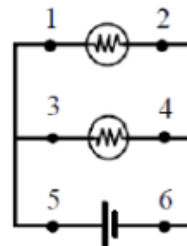
- A. Crece
- B. Decrece
- C. Permanece constante



insegur@
 poco segur@
 segur@
 muy segur@

7) Ordene de mayor a menor la intensidad de corriente de los puntos 1, 2, 3, 4, 5 y 6 (Considere que las resistencias son iguales).

- A. $I_5 > I_1 > I_3 > I_2 > I_4 > I_6$
- B. $I_5 > I_3 > I_1 > I_4 > I_2 > I_6$
- C. $I_5 = I_6 > I_3 = I_4 > I_2 = I_1$
- D. $I_5 = I_6 > I_3 = I_4 = I_2 = I_1$
- E. $I_5 = I_6 = I_3 = I_4 = I_2 = I_1$



insegur@
 poco segur@
 segur@
 muy segur@

8) ¿Por qué las baterías tienen una potencia máxima?. Cuando las baterías se descargan ¿pesan menos? ¿Por qué?

insegur@
 poco segur@
 segur@
 muy segur@

9) Domingo Gomez vive en una zona rural, el pilar de electricidad en dónde está su medidor se encuentra a 120m de su domicilio. Para llevar la energía eléctrica desde el pilar a su domicilio utiliza un cable delgado alargador que tiene hebras de aluminio. Registra que a su domicilio llega una tensión de 170V y no 220V. Realiza el reclamo a EPEC pero la empresa le contesta que en el pilar le están suministrando 220V.

a) ¿Cómo podría mejorar Domingo la tensión en su domicilio?

b) Si Domingo está utilizando 10A de intensidad de corriente eléctrica en su domicilio. ¿Qué cantidad de energía por minuto se pierde en el cable? ¿En qué forma de energía se disipa?

<input type="checkbox"/> insegur@	<input type="checkbox"/> poco segur@	<input type="checkbox"/> segur@	<input type="checkbox"/> muy segur@
-----------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------	-------------------------------------

10) Un estudiante de profesorado ha seleccionado el siguiente fragmento de un texto, el cuál considera que se puede utilizar para trabajar los siguientes aspectos de la naturaleza de la ciencia:

- El valor de la experimentación en la construcción del conocimiento
- La naturaleza humana de la ciencia
- Las controversias como forma de construcción del conocimiento
- Carácter provisional y evolutivo de la ciencia
- Relación Ciencia -Sociedad

¿Cómo calificarías la elección del estudiante de 1 a 5 (Siendo 5 equivalente a excelente)? ¿Por qué?

...“Todo comenzó en 1879 cuando Edison presentó en sociedad la bombilla incandescente. Con la intención de introducir su invento en todos los hogares del país, empezó a investigar un sistema que permitiera suministrar energía para iluminar a Estados Unidos.

Tras ocho años de pruebas y experimentos dio con una solución, la corriente continua, que sustituía al vapor como fuente de energía. Fue un éxito, aunque durante un breve periodo ya que empezaron a notarse los numerosos inconvenientes que el sistema de Edison presentaba.

La energía fluía en una sola dirección y los cables se derretían al paso de la corriente. El sistema no permitía transmitir energía a distancias superiores a 1 o 2 kilómetros, por lo que debían instalarse generadores por toda la ciudad. Y como tampoco se podía transformar el voltaje, se necesitaban líneas eléctricas por separado para proporcionar energía tanto a las industrias como a los hogares de forma eficiente, segura y económica. El resultado fue que el cielo de Nueva York -por ejemplo- quedó sembrado de gruesos cables de cobre.

En 1888 la tragedia golpeó a Nueva York y a la invención de Edison. El Gran Huracán Blanco sepultó a la ciudad, los fuertes vientos causaron la rotura de los cables que cayeron sobre las calles. Unas 400 personas murieron, muchas de ellas electrocutadas.

Tesla arribó a Nueva York en 1884 con 28 años, algunos pocos dólares en el bolsillo y una carta de recomendación de su mentor europeo para Edison. "Querido Edison: conozco a dos grandes hombres y usted es uno de ellos. El otro es este joven", decía la misiva.

La llegada de Tesla no le causó una buena impresión a Edison que desde el primer instante vio en el croata una amenaza a su popularidad y su trabajo. Sin embargo, lo contrató para que le ayudase a mejorar su sistema de corriente continua y le prometió a Tesla una recompensa de 50.000 dólares si lo conseguía.

Edison carecía de una educación formal y todos sus inventos se basaban en un método de ensayo, prueba y error. Tesla, en cambio, poseía una sólida formación y era capaz de resolver mentalmente los problemas técnicos que surgían sin recurrir a los experimentos. Las diferencias no tardaron en llegar y se distanciaron.

Pero un año y medio después, Tesla volvió con una solución: se trataba de un sistema de generación y transmisión de corriente alterna que permitía que el voltaje se elevara con un transformador antes de transportarse a largas distancias y, una vez en su destino, se redujera para proporcionar energía con seguridad lo que presentaba muchas ventajas frente a la corriente continua de Edison.

De todas formas, Edison desestimó la propuesta y menospreció a Tesla. Incluso se negó a pagarle la recompensa que le había prometido. Tesla se fue furioso y renunció a trabajar nuevamente con Edison.”...

7.3. Anexo III - Texto sobre la controversia Galvani-Volta de la primera implementación

Electrochimica Acta, Vol. 31, No. 12, pp. 1485–1490, 1986.
Printed in Great Britain.

LA RANA DE GALVANI: ANUNCIO DE UNA NUEVA ERA*

P. GALLONE

Via G. Prevati 10, 20149 Milano, Italy

(Received 15 July 1986)

Traducción al español: Luis F. Farrera G.



Retrato de Luigi Galvani

Resumen—El 30 de octubre de 1786, Luigi Galvani dio el primer informe, en la Academia de Ciencias de Bologna, sobre sus experimentos acerca de la electricidad animal, de lo que pensó había obtenido evidencia a partir de las convulsiones mostradas por una rana disecada, en cuanto sus ancas eran conectadas con su espina dorsal, por medio de un conector metálico. La publicación de estos experimentos dio lugar a una controversia de Galvani con Volta, quien negó la existencia de la electricidad animal después de descubrir que existía una diferencia de potencial entre pares de conductores disímiles. Este fue el paso preliminar que condujo a Volta a la invención de la pila voltaica. La evidencia de la electricidad animal fue dada por Carlo Matteucci, usando el galvanómetro estático inventado por Leopoldo Nobili. Esta propiedad fundamental de los organismos vivos es ahora un campo muy avanzado de investigación por la electrofisiología y la bioelectroquímica.

INTRODUCCIÓN

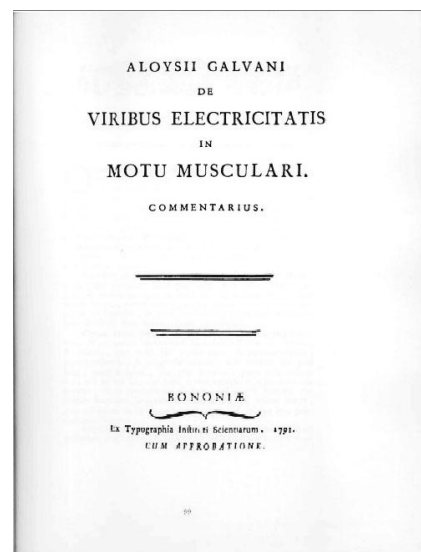
Luigi Galvani nació el 9 de Septiembre de 1737 en Bologna. Después de graduarse como doctor en medicina en 1759, inició su carrera científica en la Academia de Ciencias. Nombrado profesor de medicina en la Universidad en 1763, se graduó de profesor de anatomía en la Academia en 1766 y llegó a ser muy conocido por sus investigaciones sobre los huesos del cuerpo humano,

uréteres de aves y la glándula pituitaria. El tratado de Galvani sobre el oído de las aves, develó algunos descubrimientos fundamentales.

Las investigaciones de Galvani en electrofisiología, que comenzaron en 1780, son descritas en su *De Viribus Electricitate in Motu Musculari Commentarius*[1–3] publicado en 1791. Este tratado dio lugar a la controversia científica con Alessandro Volta, profesor de Física en la Universidad de Pavia[4–6]. Ella duró hasta la muerte de Galvani en Bologna, el 4 de Diciembre de 1798. El murió en la pobreza, después de ser relevado de su cátedra por negarse a jurar lealtad a la República Cisalpina, creada por Bonaparte.

LA CIENCIA ELÉCTRICA Y LA ELECTROFISIOLOGÍA ANTES DE GALVANI

La ciencia de la electricidad comenzó en 1600 con el tratado de *De Magnete* de William Gilbert[7]. El hizo una distinción entre las sustancias que muestran propiedades magnéticas permanentes, como el mineral de hierro (imán) y las que lo adquieren por frotamiento. Típica entre las últimas está el ámbar, resina fósil conocida desde tiempos antiguos bajo el nombre griego de "electrón". Gilbert acuñó para tal propiedad, el término de "vis eléctrica" y llamó "eléctrica" a las sustancias que pueden obtenerla.



Portada de la edición de 1791 de los Comentarios de Luigi Galvani

La máquina eléctrica necesaria para futuros avances fue inventada por Otto von Guericke 60 años después. Sin

embargo, transcurrió uno y medio siglo, antes de que el primer capacitor o "condensador" fuera ideado por Pieter Musschenbroek en la forma de la "botella de Leyden". Esto ocurrió en 1745, el año del nacimiento de Volta. El nuevo invento probó ser instrumental para un avance de esta nueva ciencia, ya que permitió que fueran almacenadas cantidades definidas de electricidad de la máquina eléctrica y correlacionada con la "tensión" electrostática, o diferencia de potencial, así adquirida por el capacitor y medible por medio de los primeros electroscopios rudimentarios. La sensibilidad de estos instrumentos fue incrementado mil veces por la invención de Volta del condensador-electrométrico (1782), el invento indispensable usado por él para sus futuros más grandes descubrimientos, inspirados por los de Galvani.

La botella de Leyden también dio la posibilidad de investigar los efectos de la electricidad sobre los organismos vivos. En 1752 el fisiólogo Leopoldo Caldani ilustró a la Academia de Ciencias de Bologna sobre los resultados de sus experimentos con la botella de Leyden, aplicada a los nervios crurales de varios animales, y concluyó que: "hay razones para creer que la materia eléctrica es el más efectivo de los agentes estimulantes".

La rapidez de las órdenes transmitidas a los músculos voluntarios a través del sistema nervioso y la pronta respuesta al estímulo sensorial, había sugerido una teoría que postulaba la existencia de un "fluido nervioso" o "espíritu animal", que puede ser identificable con el fluido eléctrico, aunque se dieron cuenta de que esto no era suficiente para explicar el mecanismo del movimiento muscular. Volta, en un escrito de 1782[5–6], expresó su opinión como sigue: "Con el fin de que tengamos derecho a hablar de electricidad animal, debemos primero hallar un tipo de electricidad especialmente ligada a la vida misma, he inherente a algunas funciones animales. Ahora, ¿existe tal electricidad? Sí, ha sido descubierta en el *torpedo* y la *anguila eléctrica* de Surinam, los cuales, en honor a Linnaeus, los Filósofos Naturales los han llamado *Gymnotus electricus*. . .". En esta comunicación, Volta cita un experimento sobre las anguilas eléctricas demostrando que "los hocicos y las colas de las anguilas eléctricas cumplen las mismas funciones que las dos superficies de la botella de Leyden". En efecto, interrumpiendo la continuidad de un arco metálico que conecta los dos extremos del pez, es posible obtener una chispa. Y Volta concluye así: "Hasta este punto, hemos sido llevados por los descubrimientos de la electricidad animal. Sin duda es posible llegar más lejos".

LAS INVESTIGACIONES DE GALVANI SOBRE LA ELECTRICIDAD ANIMAL

Los últimos 18 años de la vida de Galvani, que él dedicó a estas investigaciones, pueden ser subdivididos en dos periodos: el primero se extendió de 1780 a 1791, es

decir, la publicación de los comentarios[3]; el segundo va de 1792 hasta la muerte de Galvani (1798) y fue ocupado en la controversia con Volta.

Los escritos de Galvani son profusamente detallados. Revelan un método operativo cuidadoso y riguroso, en la búsqueda de muchas alternativas, como lo sugiere una fervorosa pero autocontrolada imaginación experimental. La integridad moral del hombre y su gran religiosidad revelan por sí mismas no solo su vida privada sino también su sincera modestia que le hace recordar la ayuda que él cree haber recibido de la oportunidad y la fortuna. Y sin embargo, para quién mejor científico que Galvani es más apropiada la observación de Pasteur de que "en el campo de las observaciones científicas la oportunidad es útil solo para preparar las mentes".

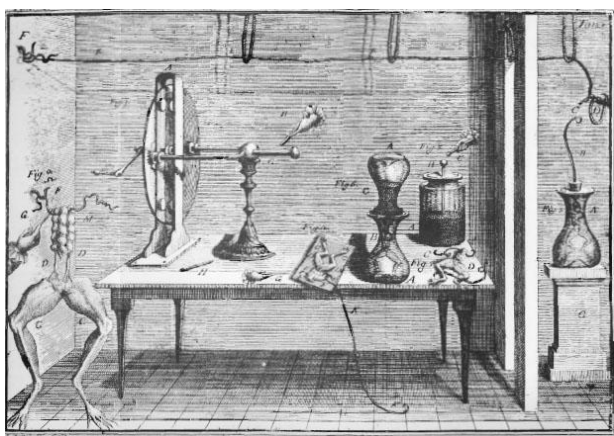
Treinta de octubre de 1786; esta es la fecha en que Galvani leyó su disertación *De Animalium Electricitate*[2–8] en la Academia de Ciencias, dando así su primera explicación pública de sus descubrimientos.

Con el propósito de estudiar la influencia del fluido eléctrico sobre los nervios que controlan el movimiento muscular, es necesario, como él observa, separar cualesquier posibles efectos ejercido por lo que él llama "la acción del alma", con ello actuando sobre animales extintos. Los de sangre fría, como las ranas, además de exhibir una reactividad neuro-muscular notable, se preservarían aún por un tiempo prolongado, *post mortem*. Galvani operaba preferentemente sobre preparaciones anatómicas que consistían de extremidades inferiores que permanecían atadas a la médula espinal, sólo a través del nervio crural.

El Comentario comienza con el primer experimento, en el que las extremidades de la rana disecada, parecen caer en "violentas convulsiones tónicas", tan pronto como las descargas son provocadas en el conductor de una máquina eléctrica, colocada a una considerable distancia aparte. Sin embargo, el fenómeno ocurre solo si los nervios crurales son tocados, al mismo tiempo, con la parte metálica de un bisturí. El bisturí es después reemplazado con un alambre aislado largo, extendido varias brazas, separado de la máquina, estando el extremo distante conectado con la médula espinal del animal, encerrado en un envase de vidrio. Las convulsiones llegan a ser aún más violentas a una gran distancia, si el extremo libre del alambre es mantenido a una gran distancia de la máquina. Estos hechos fueron interpretados por Galvani como el efecto de la electricidad transmitida por la conducción a través de la atmósfera y materiales interpuestos. Al igual que Volta, él lo atribuye al llamado "movimiento de retorno" en conductores sometidos a cambios súbitos de inducción electrostática. Ahora sabemos que bajo tales circunstancias, el aparato neuromuscular se comporta como un detector en una antena de Marconi, bajo ondas electromagnéticas de alta frecuencia, emitidas por la descarga. Los resultados así obtenidos con la electricidad

"artificial", indujo a Galvani a investigar de la corriente "natural", exponiendo su rana, conectada como antes, con un nervio conductor, a una atmosfera de tormenta. Cada vez que un rayo destellara, los músculos caerían en violentas contracciones. Esto también ocurriría tan pronto como una nube de tormenta estuviera pasando, en tanto que el electrómetro más sensible difícilmente daría alguna indicación. Después los mismos experimentos fueron realizados en días claros, con el fin de probar cualesquier posibles efectos de "electricidad diurna y quieta", colocando algunas ranas disecadas sobre la barandilla de hierro de la terraza. La médula espinal de cada animal es perforada con un gancho de suspensión. En la disertación *De Animali Electricitate* se decía que el gancho era de hierro, mientras que en el comentario es reportado como de cobre. Después de varias horas nada sucedía, excepto por el hecho de que, cada vez que los ganchos eran apretados más firmemente contra la barandilla, las ranas mostraban a menudo "diferentes movimientos espontáneos". Por ello, Galvani decidió llevar a cabo pruebas más precisas en el laboratorio, con hallazgos que comenzaron con eventos de gran trascendencia, que él describe así.

"Puse al animal en un recinto cerrado y lo coloque sobre una placa de hierro, y traté de acercarlo por medio de un gancho sujeto a la médula espinal, mostrándose las mismas contracciones. Procedí inmediatamente a probar con otros metales, en otros lugares, a diferentes días de clima, y en diversos días. Siempre obtuve el mismo resultado, pero con el hecho de que las contracciones fueron diferentes, dependiendo de la diversidad de los metales, a saber, fuertes con algunos, débiles con otros. Después pensé realizar las mismas pruebas por medio de otros cuerpos que apenas conducían o que no lo hacían del todo, usándolos bien secos: ninguno de los resultados anteriores fueron así obtenidos . . . Tal resultado nos causó no poco asombro y comenzamos a conjeturar sobre una electricidad peculiar para el animal".



Una vista típica del laboratorio de Galvani, con algunas ranas preparadas para los experimentos, una máquina eléctrica y una botella de Leyden.

Los experimentos fueron continuados bajo las más diversificadas condiciones, que eran, sin embargo, todas

obtenidas estableciendo un puente o arco conductor, ya fuera mono-metálico o bimetálico, entre la médula espinal o los nervios crurales relacionados y los músculos de las ancas. Galvani trató de explicar los diferentes comportamientos de los arcos bimetálicos. En algunas de sus primeras notas y no publicadas, consideró la posibilidad de que la contracción de la rana podría ser originada por alguna causa externa, tal como, en particular una fuerza eléctrica que surgía del contacto de los metales uno con otro o con los músculos. Pero la conclusión en el Comentario es que la diferencia en la conductividad de un metal a otro, podría también entrar en juego. Esto condujo a Galvani a anunciar una teoría, de acuerdo con la cual, el movimiento muscular era la consecuencia de una corriente eléctrica originada dentro del animal. Ella poseería algunas propiedades de la electricidad "común" o "vulgar", tal como la facultad de fluir a través del mismo tipo de sustancias, aunque tal similitud en naturaleza, no necesariamente implicaba, en absoluto, identidad entre los dos fluidos. Se ha supuesto que las fibras musculares son huecas y que funcionan como una botella de Leyden, asumiendo polaridad positiva adentro y negativa afuera. El movimiento muscular tiene lugar como consecuencia de una descarga de fluido neuro-eléctrico del músculo al nervio. No obstante, agrega Galvani, "permanece completamente incomprensible en qué manera el flujo de electricidad genera las contracciones". El comentario fue recibido con la admiración de todo el mundo. El movimiento muscular, obtenido usando un implemento tan simple como una pieza metálica, cerrando el circuito entre el nervio y el músculo, parecía dar una prueba incontrovertible de una actividad eléctrica inherente a la energía vital. El gran fisiólogo alemán Emil Du Bois-Reymond escribió medio siglo más tarde: "El entusiasmo despertado entre los físicos, biólogos y doctores solo era comparable con la agitación sobre el horizonte político de Europa", como el causado por los eventos de la Revolución francesa[9].

LA CONTROVERSIA GALVANI-VOLTA

Volta recibió al principio con entusiasmo los descubrimientos de Galvani, a los cuales calificó como "enormes y luminosos" y tales como para probar una verdadera y propia electricidad animal. El repitió los experimentos descritos en el Comentario, perfeccionándolo con algunos refinamientos metrológicos. Aplicando entre el nervio y el músculo de la rana, la descarga de una botella de Leyden a una diferencia de potencial tan baja como para que fuera detectable solo por su condensador-electrométrico, determinó el umbral de estímulo para la contracción muscular en animales vivos y muertos, encontrando con ello que, cuando la armadura positiva del capacitor es aplicado al nervio y la negativa al músculo, la contracción ocurre para una carga que es la cuarta o quinta parte de la requerida con las polaridades invertidas. Esto le

permitió rectificar una de las suposiciones de Galvani, al establecer que "la electricidad es negativa del lado del nervio, es decir, en el interior del músculo, donde el nervio entra y positivo en el lado externo".

Volta había cambiado su forma de pensar en pocos meses, después de realizar algunos nuevos experimentos que él consideró de decisiva importancia. Aplicó los extremos del arco bimetálico a dos puntos adyacentes del nervio crural, con el resultado de que el anca de la rana sufrió las mismas convulsiones que cuando el arco cerraba el circuito entre el nervio y el músculo. Después, en otro experimento, puso una placa de estaño en la punta de su lengua y una moneda de plata u oro en medio. Estableciendo un contacto entre las dos piezas, percibió un sabor ácido que cambió a alcalino, al invertir las posiciones de las piezas. Una comparación entre estas sensaciones organolépticas con las análogas producidas por la leve descarga de una botella de Leyden, Volta determinó el sentido de la corriente que circulaba entre los dos diferentes metales.

A partir de estos y otros hallazgos, obtuvo las siguientes conclusiones:

- (1) El fluido eléctrico en el experimento de Galvani es puesto en movimiento por la estructura heterogénea y la unión de metales con cuerpos húmedos.
- (2) Por consiguiente, el fluido eléctrico es producido artificialmente y actúa como un estimulante del nervio, pero no como una fuerza motriz en el músculo.
- (3) El modo por el cual el nervio ejerce su acción "sobre la fuerza innata en los músculos, que la fisiólogos llaman 'irritabilidad', aún permanece como un problema no resuelto".
- (4) Cualquier intervención de algún tipo de electricidad animal es por lo tanto negada.

Parece apropiado en este momento señalar algunas omisiones, que es fácil para nosotros detectar, relativas a los aspectos epistemológicos de los argumentos en esta disputa. Un sistema compuesto por uno o varios metales que están conectados en serie, con una cadena electrolítica, no homogénea (como la formada por una sucesión de partes anatómicas), es, ahora sabemos, una "celda Galvánica" cortocircuitada. Pero la posibilidad de definir como "eléctrico" el fluido que se mueve ahí, es ofrecida por la indicación de un instrumento electrodinámico, por lo cual la rana o la lengua en dichos experimentos, son improvisaciones insuficientes. De hecho, la única definición operacional de electricidad, aceptable en ese tiempo, es decir, antes del descubrimiento del electromagnetismo y las leyes de Faraday, era de naturaleza electrostática, basada en las mediciones del

electrómetro. De ello resulta que no solo la suposición tentativa de Galvani de algún tipo de fluido eléctrico activo en los sistemas biológicos, sino también el argumento de Volta, basado en un fluido eléctrico producido por conductores disímiles afuera del animal, eran ambos meras hipótesis, aún esperando una definición operacional y una confirmación experimental. En este tipo de consideraciones críticas, que hizo el profesor Friederich Gren of Halle, una autoridad reconocida por Volta, sabiamente se basó en él cuando sugirió adoptar los términos provisionales de "fluido Galvánico" y "Galvanismo" para ese agente hipotético y fenómenos relacionados[10].

La controversia se animó cuando Galvani y sus seguidores tuvieron éxito al obtener las convulsiones de la rana, conectando directamente las ancas con los nervios crurales. El mundo científico se dividió en dos grupos. Entre los aliados de Galvani estaba el gran naturalista alemán Friederich von Humboldt. Volta reaccionó al principio objetando que las convulsiones de la rana obtenidas sin la ayuda de ningún metal, puede solo ser atribuido a algún tipo de estímulo mecánico inadvertido. No obstante sintió la urgencia de llevar a cabo nuevas pruebas, cuyos resultados le hizo desarrollar el concepto general de una diferencia de potencial interfacial, que surge entre dos cualesquiera fases en contacto. El tuvo éxito en la verificación experimental, por medio del condensador-electrométrico, con el descubrimiento consecuente del "efecto Volta" o electricidad de contacto. El fue por ello capaz de elaborar la serie voltaica de los metales, arreglados en orden de sus potenciales eléctricos de contacto (1796). Fue el paso previo hacia la invención de la pila (1799).

Entre 1795 y 1797 Volta publicó algunas *Memorias*, ilustrando sus últimos descubrimientos, tan contradictorios para la suposición de cualquier electricidad animal. Pero esto no desanimó a Galvani en persistir en sus nuevas investigaciones. Son el tema de cinco *Memorie sull' elettricità animale*, editada como una monografía en 1797 y dedicada a Lazzaro Spallanzani, un maestro en biología reconocido mundialmente, a quien el autor invitó a fungir como juez en la controversia. El primero de sus escritos es un reto abierto "la pretendida electricidad de metales heterogéneos y su conjeturada fuerza para desbalancear la electricidad de animales".

La segunda memoria, describe una prueba que Du Bois-Reymond llamó "el experimento básico de electrofisiología"[9]. Dos ranas fueron colocadas en contacto mutuo de modo que la herida expuesta del extremo cortado de un nervio crural en cualquier rana, tocara un nervio de la otra, en su parte sana. Las consecuentes contracciones de ambas ranas fueron debidas a una diferencia de potencial entre el interior y el exterior de los nervios; los así llamados potenciales "límite" o "de reposo", que fueron medidos primera vez en 1827 por

Leopoldo Nobili con su galvanómetro astático y correctamente interpretado por Carlo Matteucci[11-13].

La última parte de la monografía de Galvani es un estudio certero del torpedo, un pez abundante en el mar adriático. La estructura idéntica y el origen de los nervios que controlan los órganos eléctricos y todas las otras partes de este animal, lo convencieron de lo correcto de sus aseveraciones.

Esta monografía es el último trabajo de Galvani: puede ser reconocido como su testamento espiritual. Volta replicó en el siguiente año. Su tono casi arrogante está dolorosamente en contraste con el estilo de Galvani, siempre educado aún a través de la polémica. Volta llegó tan lejos como para declarar que casi "se sentía escandalizado por la persistencia de Galvani" al aseverar la "existencia de alguna electricidad interna movida por una fuerza vital o función orgánica, cualquiera que esta fuera", aún después de la evidencia de lo contrario, brindada por los últimos descubrimientos de Volta. Galvani murió en el mismo año sin replicar[14].

LAS CORRIENTES ELÉCTRICA Y GALVÁNICA PROBARON SER IDÉNTICAS. NACIMIENTO DE LA ELECTROFISIOLOGÍA MODERNA

La electricidad producida por la pila de Volta pareció al principio muy distinta que la de la botella de Leyden; en la explicación de nuevos efectos que producía, tales como los electroquímicos y electromagnéticos. Por esta razón se le dio el nombre de "corriente galvánica": no tanto en homenaje a Galvani, como para mantener la cauta precaución propuesta por Gren[10]. Así pues, los primeros instrumentos de medición fueron llamados "galvanómetros" y el nombre de Galvani se mantuvo en muchos términos, tales como "celda galvánica"[15].

Volta alcanzó la cima del triunfo en noviembre de 1801, con la lectura de su disertación en el Instituto Nacional de Francia bajo el título: "Sobre la identidad de los fluidos eléctrico y galvánico". Sin embargo persistieron las dudas. Aún en 1829, Sir Humphry Davy se hallaba confundido por la posibilidad de tal identidad. La polémica fue cerrada por Michael Faraday sólo en 1833, seis años después de la muerte de Volta, con el descubrimiento de las leyes fundamentales de la electrólisis: las leyes de Faraday. No obstante, la cuestión relativa a la existencia de una electricidad animal, permanecía aún abierta. La prueba experimental fue dada, como ya se ha dicho, por Matteucci. Así nació la Electrofisiología Moderna, como una parte integral de la Bioelectroquímica[16], la ciencia interdisciplinaria que estudia los procesos fundamentales que rigen la vida, tanto del reino animal como también del reino vegetal. La célula viviente, unidad biológica elemental, es por sí misma un sistema electroquímico maravilloso, cuya complejidad y respuesta al estímulo son

incomparablemente mayores de lo que uno podría imaginar obtener de cualquier dispositivo artificial. La "acción potencial" que se propaga de celda en celda a la velocidad del sonido, para transmitir órdenes de los nervios al aparato muscular, es la manifestación más maravillosa de la bioelectricidad, de acuerdo con la intuición anticipada de Galvani[17-20].

CONCLUSIONES

En este debate científico, que vio los nombres de Galvani y Volta unidos y mutuamente opuestos, para crear uno de los momentos más creativos en la historia de la civilización, podría ser instructivo para considerar el papel preeminente jugado por la hipótesis, que es su fuerza heurística, derivada de esa facultad inductiva que es una misteriosa propiedad de las mentes geniales. La hipótesis que recibe su validez de la verificación experimental, de acuerdo con el "probando y reprobando", de la enseñanza de Galileo.

Galvani, como Volta, fueron magistrales formuladores de hipótesis y diestros e infatigables experimentadores. Aunque expresando su recíproca estimación, nunca intentaron conocerse el uno al otro. El espíritu polémico prevaleció en ambos y les evitó admitir como posible y complementaria su propia teoría con la de su oponente. Esperemos que esto sea una advertencia a todos los hombres de pensamiento e investigación.

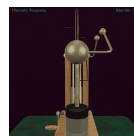
REFERENCIAS

1. L. Galvani, *Opere Edite ed Inedite*. Dall'Olmo, Bologna (1841).
2. L. Galvani *Opere Scelte* (Edited by G. Barbensi). U.T.E.T., Torino (1967).
3. L. Galvani, *Galvani's Commentary on the Effects of Electricity on Muscular Motion*, trans. by M. Glover Foley, Burndy Libr., Norwalk (Conn.) (1953).
4. A. Volta, *Le Opere di Alessandro Volta*. Ediz. Nazionale, Hoepli, Milano (1918-1929).
5. A. Volta, *Le Epistolario di Alessandro Volta*. Ediz. Nazionale, Zanichelli, Bologna (1949-1955).
6. A. Volta, *Opere Scelte* (Edited by M. Gliozzi). U.T.E.T., Torino (1967).
7. M. Gliozzi, *L'Elettrologia fino al Volta*. Loffredo, Napoli (1937).
- 8.- L. Galvani, *Memorie ed Esperimenti Inediti*. L. Capelli, Bologna (1937).
9. E. Dubois-Reymond, *Untersuchungen über thierische Elektrizität*. G. Reiner, Berlin (1848).
10. F. Gren, *Neues J. Phys.* III, 480 (1796).
11. M. Sirol, *Galvani et le Galvanisme. L'Electricité Animale*. Vigot Frères, Paris (1938).
12. L. Nobili, *Ann. Chim. Phys.* 38, 225 (1828).
13. C. Matteucci, *Ann. Chim. Phys.* 3ème Série, tome 6ème, 301 (1842).
14. G. Polvani, *Alessandro Volta*. Domus Galileiana, Pisa (1942).
15. S. Trasatti, *J. electroanal. Chem.* 197, 1 (1986).
- (Bibliografía incompleta).
16. G. Milazzo and M. Blank, *Bioelectrochemistry I Biological Redox Reactions*. Plenum Press, New York (1983).
17. F. Magni, *Fondamenti di Elettricità Animale*. Boringhieri, Torino (1972).

7.4. Anexo IV - Texto sobre la controversia Galvani-Volta de la segunda implementación

Marcello Pera, *“The ambiguous frog: The Galvani-Volta controversy on animal electricity”*

Durante el siglo XVIII, algunos fisiólogos como Luigi Galvani estaban acostumbrados a observar contracciones en varios animales muertos; uno de ellos era la rana, la cual preparaban de manera especial separándole una porción de médula de su canal espinal dejando sólo los nervios crurales³ conectados a sus extremidades, luego dicha preparación era ubicada en una placa de vidrio. Uno de los extremos conductores de una máquina eléctrica era conectado a la médula espinal y el otro extremo conductor se conectaba a un cuadro de Franklin (cuadro conductor (Wimshurst)), para posteriormente hacer girar la máquina.



Luego de varios giros, los fisiólogos levantaban con un cuerpo aislante el extremo conductor que estaba unido a la médula espinal evitando la descarga de la rana, ponían el extremo de un arco metálico en la superficie del cuadro de Franklin mientras que el otro extremo del arco tocaba la médula espinal. Entonces, se obtenían quince contracciones y distensiones de las patas de la rana, correspondientes a quince contactos simultáneos entre el cuadro, arco y rana (Fig. 1).

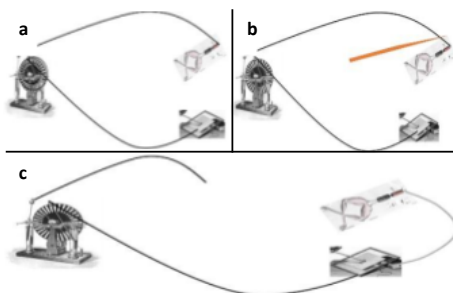


Fig.1.. Experimento inicial de Galvani: a) Máquina eléctrica con sus extremos conductores, uno hacia el cuadro de Franklin y el otro hacia el nervio crural de una rana preparada. b) Separación del conductor que va a la rana con un material aislante. c) unión del cuadro de Franklin con el nervio de la rana, mediante un arco conductor. Recuperado y adaptado de <http://www.museocabrerapinto.es/quienes-somos>

Galvani explicó las contracciones observadas considerando la salida de un fluido eléctrico de la rana sobrecargada a la superficie del cuadro de Franklin. Desde este fenómeno fue imposible para Galvani determinar la naturaleza del fluido, que fluyó hasta que se restauró el equilibrio entre rana y cuadro, así que el fisiólogo se preguntó: ¿Era un fluido externo que se acumulaba y confinaba por los nervios de la rana, especialmente en la médula espinal? o ¿Era un fluido que se originaba en las partes internas de los nervios de la rana y que se excitaba por causas externas para viajar por el arco metálico hasta la superficie del cuadro de Franklin?

Mientras Galvani intentaba dar solución a los anteriores cuestionamientos se encontró, por accidente, que si alguien acercaba un dedo a la máquina electrostática generando una

chispa y al mismo tiempo otra persona acercaba un bisturí al nervio crural de una preparación colocada sobre una placa de vidrio, sin tocar al nervio, se producía una contracción muscular. Si repetía la misma maniobra sin que la otra persona produjera la chispa no había contracción muscular, es decir se trataba de "contracciones a distancia" (Fig. 2).

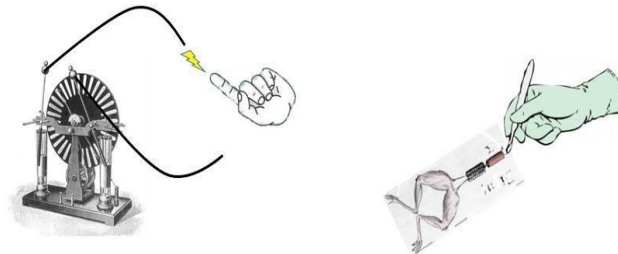


Fig. 2. Experimento de Galvani "contracciones a distancia". Recuperado y adaptado de Pera, 1992 y <http://www.museocabrerapinto.es/quienes-somos>

Sin embargo, algunos físicos coincidieron en que la percepción de Galvani en torno al experimento de contracciones a distancia era exagerada, desmedida y se pudo haber evitado sólo si Galvani hubiese sido competente en electricidad. Por ejemplo, Jean François y Dominique Arago argumentaron que el fenómeno observado por Galvani "si le hubiera ocurrido a un físico experto familiarizado con las propiedades del fluido eléctrico, apenas habría atraído su atención, ya que la explicación se encuentra convenientemente en las leyes ordinarias de la influencia de las atmósferas eléctricas"(citado por Pera, 1992).

Tanto los físicos como Galvani asumían que la contracción de la pata de la rana se presentaba por el movimiento del fluido eléctrico. Los físicos pensaban que este movimiento era causado por las atmósferas eléctricas, vistas como áreas de aire electrificado. No obstante, Galvani, a diferencia de los físicos, definía las atmósferas eléctricas como estratos de fluido que se liberan de un cuerpo cargado (como el conductor de la máquina) y refutaba a los físicos afirmando que las atmósferas eléctricas del conductor de la máquina no podían ser las responsables de las contracciones, porque experimentalmente él observó que a pesar de poner el conductor durante mucho tiempo en la rana, las patas no se contraían.

Galvani generó una variación del experimento de contracciones a distancia; cubrió la rana con material aislante (azufre) excepto en una pequeña parte, percibió que las contracciones de la pata de la rana se seguían presentando, específicamente observó que la contracción producida por la primera chispa era semejante a la producida por otras chispas, aún a una distancia de seis pies (aproximadamente 1.83metros), distancia a la cual ya no se transmite la atmósfera eléctrica generada por el conductor de la máquina.

Con el convencimiento de que las atmósferas eléctricas no eran las responsables de la contracción de la pata de la rana, Galvani formuló su propia explicación a través de dos corolarios; en el primero planteó, que la verdadera causa del fenómeno de las contracciones a distancia es un fluido altamente sutil, que existe en los nervios, se excita por el impacto, vibración e impulso de la chispa y se comunica tanto al aire, como al cristal y otras partes exteriores a la rana; y, con el segundo corolario, que dicho fluido era inherente al animal.

Este último corolario determinó la hipótesis que Galvani sustentó hasta el fin de sus días, defendiendo la existencia de una electricidad animal desde la aceptación de un fluido interno

específico de los organismos vivos; denominado por sus antecesores fluido nervioso, al que Galvani caracterizó como una mezcla de fluido eléctrico y un vapor tenue secretado en el cerebro que fluye a través de los nervios.

Respecto al problema de investigación que Galvani tenía inicialmente sobre la naturaleza del fluido que producía las contracciones en los músculos de la rana, planteó que dicho fluido eléctrico es interno al animal y se excita a través de la chispa. Sin embargo, este fisiólogo no tuvo los elementos suficientes para sustentar su teoría frente a la comunidad científica, por lo tanto cualquier planteamiento era tan sólo un supuesto.

En el crepúsculo de un día de septiembre de 1786, fuera de su laboratorio a campo abierto, Galvani observó por accidente movimientos espontáneos, irregulares y frecuentes de una rana preparada a la cual le perforó la médula espinal con un gancho de hierro y la suspendió sobre una barandilla de hierro, las contracciones se produjeron en el instante en el que los ganchos tocaron la barandilla y la rana se excitaba con la frecuencia que el gancho se pulsaba (Fig. 3).

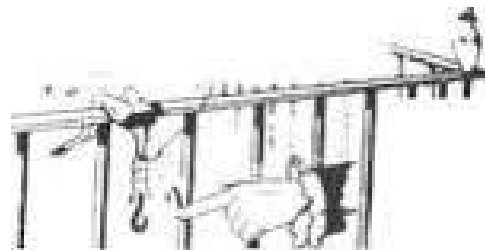


Fig. 3. Experimento de las barandillas de Galvani. Tomada de Pera, 1992.

Esta experiencia hizo que Galvani dudara sobre el planteamiento de la necesidad de una chispa para producir la contracción del músculo de la rana, puesto que la preparación estaba a campo abierto y las contracciones dependían del contacto entre gancho y baranda; por lo tanto Galvani, para asegurarse que nada externo especialmente la electricidad de las nubes le afectara, repitió la experiencia de las barandillas, ahora en el laboratorio y sin ningún tipo de fuente eléctrica, observando que igualmente se producían las contracciones.

Fundamentado en la experiencia de la barandilla, Galvani preparó una rana de la manera usual, con una mano la tomó de la médula espinal para ubicarla verticalmente poniendo las patas sobre la superficie de un cuadro de oro (o de plata), con la otra mano cogió un cuerpo metálico para tocar el cuadro, en ese instante las patas de la rana empezaron a elevarse de tal modo que cada vez que Galvani hacía el contacto la rana parecía saltar.

Así mismo, el asistente de Galvani fijó un gancho de hierro en la médula espinal de una rana preparada, posteriormente la sostuvo de una pata en posición vertical sobre un cuadro de oro; cuando el gancho y también la pata opuesta tocaban el cuadro, el músculo se contraía haciendo que la pata se levantara. Empero, la pata se cayó nuevamente y el fenómeno persistió durante algún tiempo, observando varias contracciones musculares (Fig. 4).



Fig. 4. Experimentos en el laboratorio de Galvani: **a)** rana preparada ubicada de manera vertical sobre un cuadro de oro. **b)** rana preparada con un gancho metálico en la médula, sostenida de manera vertical sobre el gancho en el cuadro de oro. Recuperado y adaptado de Pera, 992 y <http://www.museocabrerapinto.es/quienes-somos>

Dos nuevos corolarios fueron el resultado que postuló Galvani de los anteriores experimentos; en el primer corolario, sostuvo que el fenómeno de la contracción depende de una descarga entre el nervio y el músculo de la rana mediante un arco conductor; en el segundo corolario, Galvani planteó que la descarga se da porque existe un desequilibrio eléctrico entre la superficie externa (músculo) e interna (nervio) de la rana.

Galvani concibió una analogía del músculo inervado de la rana con la [botella de Leyden](#) (Fig. 5); asemejó el metal externo de la botella con el músculo y el metal interno con el nervio; asegurando que en ambos casos hay un desequilibrio entre las partes externas e internas que se anula cuando se ponen en contacto a través de un arco conductor. A partir de dicha analogía Galvani reafirmó la existencia de una electricidad animal intrínseca, además admitió que la causa que generó la excitación del fluido no era externa (chispa) sino interna (desequilibrio entre dos partes de la rana).

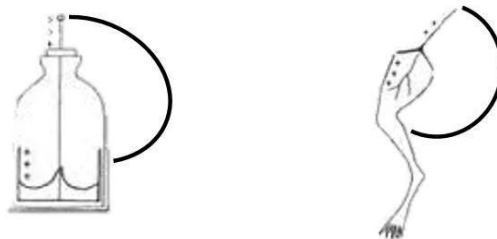


Fig. 5. Analogía de Galvani, entre la botella de Leyden y el músculo inervado de la rana Tomado de Pera, 992.

Las hipótesis de Galvani cubrieron un espectro de todas las posibles soluciones a los cuestionamientos sobre el origen y la excitación del fluido eléctrico animal. Galvani fue tan sagaz que tomó las leyes de los físicos para fortalecer la hipótesis de la electricidad animal y formular ideas que aunque rechazó posteriormente fueron adoptadas por Volta.

En marzo de 1792, Galvani envió su documento (*Commentarius*) a don Bassiano Carminati, quien inmediatamente dio a conocer los experimentos y resultados a Volta. La forma de proceder que asumió Volta frente al trabajo de Galvani estuvo determinada por dos criterios metodológicos; el criterio de aceptación, desde el cual consideró que las únicas hipótesis aceptadas debían ser las que tenían una confirmación directa y pública; y el criterio de preferencia o relevancia con el que pautó que si una hipótesis explicaba un experimento no debía introducirse una nueva.

Volta estudió y reprodujo los experimentos de Galvani, inicialmente admitió una electricidad intrínseca en la rana y agregó conclusiones que la complementaban, como la de una carga mínima necesaria para generar la contracción. No obstante, su metodología y curiosidad desviaron su atención hacia la función del arco conductor y en general de los metales en el fenómeno, desatendiendo el estudio fisiológico de la rana.

Volta puso dos metales (una placa de estaño y una moneda de plomo), cada uno en una parte diferente del cuerpo de una rana muerta y entera (sin preparar) y observó contracciones al unir los dos metales con un arco conductor (Fig. 6). Este y otros experimentos similares, llevaron a que Volta considerara el arco conductor de naturaleza bimetálica como una condición necesaria para el movimiento del fluido eléctrico en las contracciones, y no simplemente como un instrumento indicador de desequilibrio entre dos partes de la rana como lo planteó Galvani.

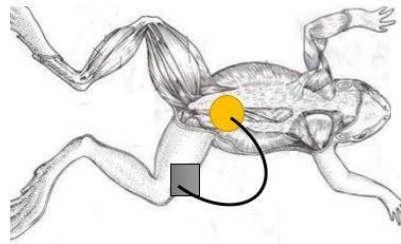


Fig. 6. Experimento de Volta: contacto entre dos metales diferentes en una rana entera. Recuperado y adaptado de <http://es.slideshare.net/richardchavez22/sistema-muscular-en-a-n-f-i-b-i-o-s>

Volta empezó a cuestionarse acerca de si el arco conductor bimetálico era un agente meramente pasivo, o era un agente activo que perturbaba el estado de reposo o equilibrio del fluido eléctrico animal, haciendo que este fluido entrara a través de un metal (A) y saliera por un metal (B), estableciéndose una corriente originada **por la acción de metales diferentes** en rugosidad, suavidad, flexibilidad u otras características.

Mientras Galvani hizo descansar su teoría particularmente en la característica conductora de los metales, Volta hizo alusión a una posible fuerza electromotriz (diferencia de potencial) que le da al contacto de dos metales diferentes la facultad de excitar el fluido eléctrico.

Otro de los experimentos de Galvani que también llamó la atención de Volta, consistió en que las contracciones de la pata de la rana se obtuvieron incluso cuando los dos extremos del arco conductor se ponían sobre el nervio, lo que indicaba que el desequilibrio yacía en el solo nervio, no entre nervio y músculo. Este experimento era contrario al hecho de que se producían las contracciones mediante la conexión con el arco conductor de la médula espinal a otras fibras, como las tendinosas, musculares y cutáneas. Así que Galvani decidió declarar como intrascendente el experimento y continuar explicando el fenómeno a través de la analogía entre la botella de Leyden y el músculo inervado.

El experimento anterior, despreciado por Galvani, inspiró a Volta a colocar dos anillos de metal únicamente en el nervio, de tal forma que quedara una pequeña parte del nervio descubierta entre los anillos. Posteriormente, Volta conectó cada uno de los extremos de la botella de Leyden en cada uno de los anillos; cuando la botella se descargó, las patas de la rana se contrajeron, a pesar de que el fluido eléctrico se limitó a una pequeña parte del nervio. Esta era otra razón para que Volta dudara de las conclusiones de Galvani, porque si el fluido eléctrico pasaba sólo por el nervio, la analogía entre la botella de Leyden y el músculo inervado no era precisa. Además, el experimento implicaba que el fluido era excitado por un desequilibrio del solo nervio o por la fuerza electromotriz (Fig. 7).

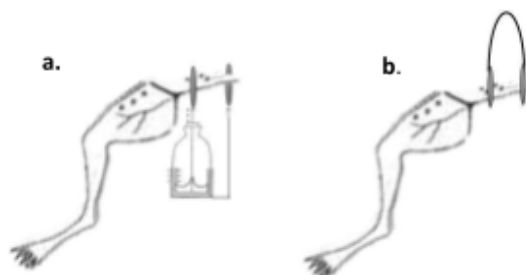


Fig. 7. Experimentos de Volta conexión del arco y la botella al nervio crural a) conexión de cada sección de la botella de Leyden a los anillos metálicos ubicados en el nervio crural de la rana. b) conexión de cada extremo del arco conductor a los anillos metálicos ubicados en el nervio crural de la rana. Recuperado y adaptado de Pera, 1992.

La idea de que el contacto entre metales disímiles era la causa del movimiento del fluido eléctrico, fue fortalecida por Volta al formular la Teoría Especial de Contacto Metálico, desde la cual consideró que el fluido eléctrico animal era perturbado y sacado de su reposo por dos metales diferentes en contacto que actuaban como motores eléctricos.

La diferencia en las posturas de Galvani y Volta hizo que se formaran campos opuestos. Algunos científicos adoptaron la hipótesis de la electricidad animal y se convirtieron en críticos de la electricidad por contacto de metales disímiles, como Giovanni Aldini (sobrino de Galvani), Lazzaro Spallanzani, Eusebio Valli y Alexander Von Humboldt. Mientras que otros científicos se convirtieron en partidarios de la electricidad artificial de Volta y en críticos de Galvani, como Gioacchino Carradori, Bassiano Carminati, Richard Fowler, Felice Fontana y Tiverio Cavallo. Volta aún no tenía pruebas suficientes para refutar por completo la hipótesis de electricidad animal de Galvani, y sus experimentos no mostraron que los metales diferentes siempre eran necesarios para las contracciones. Por el contrario, los galvanistas atacaron la teoría de contacto metálico o electricidad artificial de Volta a través de pruebas que refutaban la necesidad de un contacto bimetálico en las contracciones.

Galvani y sus seguidores no se daban por vencidos y lograron producir contracciones sin recurrir a los conductores de primera clase como lo muestra el trabajo de Valli, quien preparó una rana de la manera usual, y puso su pulgar izquierdo en la parte superior de los músculos del animal, mientras que con la mano derecha dobló una pata de la rana hasta la espina dorsal, formando una especie de arco con la misma rana. Cada vez que Valli hacía esto estaba tentado a decir que el animal se le escapaba, porque las patas de la rana se contraían.

La conclusión de Valli fue muy explícita y crítica; existe la electricidad en un estado de desequilibrio en los músculos, en los nervios o en ambos, puesto que se observan movimientos sin la ayuda de metales. Por tanto, los metales no son motores de electricidad, no son los que causan el desequilibrio, ni los que poseen una virtud mágica secreta.

Por su parte, Galvani con los experimentos de “contracciones sin metales” determinó la necesidad de un arco artificial o natural, y afirmó que las contracciones exhibían la electricidad animal; mientras Volta pensaba que las contracciones musculares revelaban la fuerza electromotriz del contacto de metales diferentes.

Galvani reconoció que una máquina especial debe ser capaz de producir y conservar el desequilibrio eléctrico al interior del animal. De esta manera usó una vez más la analogía con la botella de Leyden, para declarar que la electricidad animal contiene dos electricidades que

están divididas y aisladas dentro del animal, y tan aferradas que no se escapan. Por tanto al contrario de lo que dijo Volta, sí era preciso comparar la rana con la botella de Leyden.

Volta admitió que su teoría especial de contacto entre metales diferentes había sido genuinamente desmentida por las conclusiones y experimentos de los galvanistas; sin embargo, lejos de considerar estos experimentos contrarios y devastadores, hizo uso de ellos para reformular sus hipótesis y construir la teoría general de electricidad por contacto.

Entonces, Volta aceptó la importancia de retractarse frente a la idea de que en las contracciones de la rana se hacía necesario el contacto de dos metales diferentes. Pero seguía argumentando y discutiendo, porque para él el fluido eléctrico no estaba en desequilibrio dentro del animal como lo sostenían los galvanistas, por el contrario consideraba que el fluido recibía una fuerza generada por el contacto entre conductores, es decir, la electricidad era excitada por una causa extrínseca, un agente externo, y de ninguna manera por un principio de la fuerza inherente en el animal.

Volta explicó que en el experimento de Valli el contacto entre los nervios, músculo y el líquido que se encontraba entre ellos (sangre o agua con sal) generaban una fuerza electromotriz, y el fluido eléctrico era puesto en movimiento. Por tanto, Volta generalizó su teoría afirmando que no era necesario acudir a una hipótesis como la electricidad animal, porque el desequilibrio se encontraba en el contacto de conductores diferentes, sin importar su clase.

Esta conclusión y la muerte de Galvani fomentaron el hecho de que Volta se concentrara en la elaboración de diversos circuitos que mostraban el fluido eléctrico en movimiento a partir del contacto de conductores; en uno de estos circuitos apiló y alternó discos de cobre y zinc de igual tamaño intercalando entre ellos trozos de paño húmedo; Volta descubrió que al conectar por medio de un arco de metal, el cobre y el zinc ubicados cada uno en un extremo, lograba que se moviera el fluido eléctrico a través del arco. Esto lo impulsó a construir un artefacto conocido actualmente como pila voltaica.