

Propuesta educativa para desarrollar la competencia explicación en enseñanza media de la Física

Miguel Ángel Caro Rivas – Universidad Metropolitana de Educación, Ciencia y Tecnología

 0000-0002-9892-7167

Nidia Danigza Lugo López – Universidad Nacional Abierta y a Distancia

 0000-0002-9096-5767

María del Carmen Pérez Almagro – Fundación Emilio Pérez Piñero

 0000-0003-0774-9981

Fecha de publicación: 13.03.2024

Correspondencia a través de **ORCID**: Nidia Danigza Lugo López

 **0000-0002-9096-5767**

Citar: Caro Rivas, MA, Lugo López, ND, & Pérez Almagro, MC (2024). Propuesta educativa para desarrollar la competencia explicación en enseñanza media de la Física. *REIDOCREA*, 13(10), 138-153.

Área o categoría del conocimiento: Enseñanza de la física desde el experimento

Revisión por pares abierta	Revisor	Jhoan Sebastián Báez Acevedo		0000-0002-2227-7532
Recepción: 21.02.2024	Revisor	Jose Laureano Cruz Cardozo		0000-0003-0020-9675
Acceptado: 13.03.2024				

Resumen: El trabajo analiza la contribución de los experimentos demostrativos, como estrategia en el desarrollo de la competencia explicación de fenómenos en el aprendizaje del concepto de campo eléctrico. Se trata de una investigación de corte cualitativo con método de estudio de caso en el Colegio José María Vargas Vila IED (Colombia). La recolección de los datos se realizó con tres técnicas: observación participante, entrevista abierta y grupo focal. Dichos registros se han clasificado en dos categorías centrales y cuatro subcategorías. Tras el análisis de ellos, se evidenció que los estudiantes muestran indicios en el desarrollo de la competencia explicación de fenómenos, estableciendo relaciones de causa y efecto al cambiar variables de los experimentos, y, logran participar activamente en las discusiones fundamentadas desde lo observado y desde sus conocimientos científicos.

Palabra clave: Experimentos demostrativos

Educational proposal to develop explanation competence in secondary education of Physics

Abstract: This study examines the impact of demonstrative experiments as a strategic approach to fostering competence in explaining natural phenomena during the learning process of the electric field concept. Qualitative research was conducted using a case study methodology at José María Vargas Vila IED School in Colombia. Data collection employed three techniques: participant observation, open interviews, and focus groups. The gathered data were categorized into two central themes and four subcategories. Upon analysis, it is evident that students exhibit progress in developing competence related to explaining phenomena. They successfully establish cause-and-effect relationships by manipulating variables in experiments and actively engage in discussions based on their observations and scientific knowledge. This research highlights the effectiveness of demonstrative experiments in enhancing students' understanding of the electric field concept.

Keyword: Demonstration experiments

Introducción

La enseñanza de la Física, en especial del electromagnetismo en el aula, es fundamental para explicar una amplia gama de fenómenos naturales y tecnológicos que se encuentran, desde la generación y transmisión de electricidad, hasta la tecnología digital. Su enseñanza fomenta el pensamiento crítico y analítico en los estudiantes, proporcionando herramientas para resolver problemas complejos bajo los principios científicos. El estudio de los campos eléctricos y magnéticos puede ser particularmente desafiante para el alumnado de enseñanza media debido a su alto nivel de abstracción, ya que requiere una comprensión profunda de principios que no son directamente observables. Por su naturaleza abstracta es necesario un enfoque didáctico innovador que le ayude a formar representaciones mentales claras y precisas, facilitando una profunda comprensión de los conceptos científicos. En esta dirección existen varias

propuestas como la implementación de experimentos (Osorio et al., 2015; Cyrulies, 2022; Velasco y Buteler, 2023), laboratorios virtuales/remotos (Pontes Pedrajas, 2022), realidad aumentada (Prahani et al. 2022) o actividades enfocadas en cambiar las emociones que despierta la Física en los estudiantes (Cordero et al., 2017).

En el caso de Colombia, el Ministerio de Educación Nacional [MEN], 2006) propone la enseñanza de las ciencias desde el enfoque de las competencias. Para ello, plantea los Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales-Física y la enseñanza de las ciencias desde tres competencias científicas: indagación, uso del lenguaje científico y explicación de fenómenos. Con este criterio espera que los estudiantes tengan la capacidad de asombrarse y analizar para plantear hipótesis, relación causa-efecto, desarrollar el espíritu crítico y saber argumentar. Por su parte, la competencia explicación de fenómenos se basa en que un estudiante aplica conocimientos y habilidades en un problema práctico particular o colaborativo donde mejora su capacidad crítica, reflexiva y analítica acerca de los conocimientos científicos y con ello, la posibilidad de solucionar problemas en su entorno social y construir explicaciones empleando referentes conceptuales (Instituto Colombiano para la evaluación de la Educación, [Icfes], 2021; MEN, 2006). Dichas competencias son evaluadas cada año con el Examen de Estado Saber 11. En los últimos cinco años, la competencia explicación de fenómenos científicos ha tenido resultados negativos, como se puede ver en la Figura 1. El porcentaje de desconocimiento en relación con las otras competencias es el más elevado con una tendencia al alza del 50% en 2017, al 60% en 2020 y con un ligero descenso de casi cinco puntos en 2021.

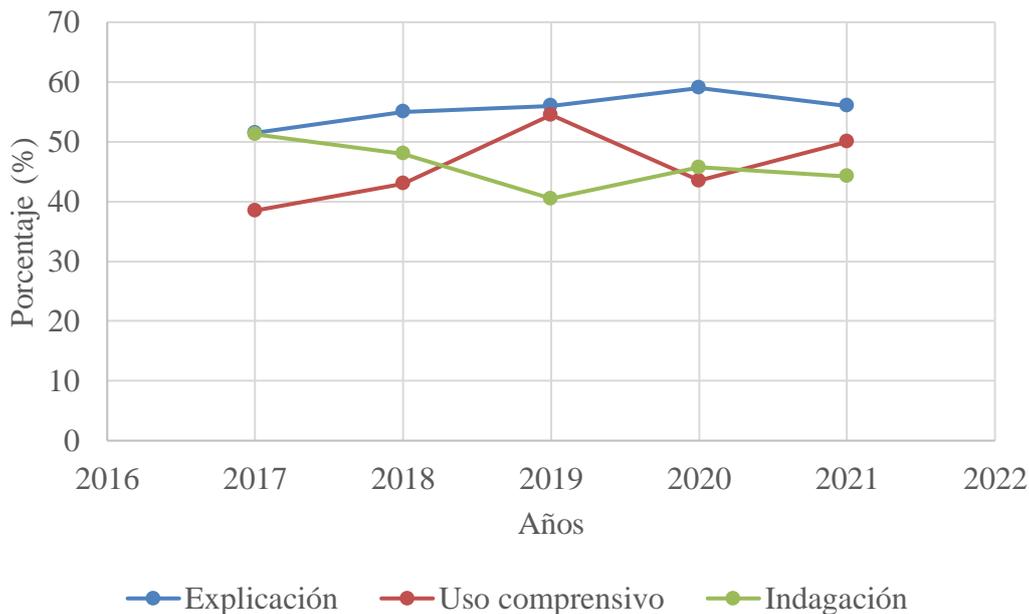


Figura 1. Porcentaje de respuestas incorrectas de las competencias en Física a nivel nacional, datos extraídos del Examen de Estado Saber 11 a nivel nacional (2017-2021). Caro Rivas (2022).

De la revisión de la literatura, la enseñanza por competencias, se encuentran los trabajos de Culzoni et al. (2020) y Farina et al. (2019) exploran la enseñanza por competencias en la universidad, enfocándose en Física II o Electromagnetismo, específicamente en la ley de Amper y el campo eléctrico, mientras Gon y Agosta (2020) se centran en la Calorimetría. Estas investigaciones tienen en común que el trabajo desde la experimentación y la enseñanza por competencias facilita el aprendizaje, aunque Gon y Agosta añaden que al alumnado se le dificulta la evaluación por competencias.

En la educación media, los estudios de Ramírez-Grisales (2018) y Rojas y Valdivieso (2017) en décimo grado, y de Manjarrés (2017) en undécimo, se centraron en fomentar la competencia explicativa mediante Aprendizaje Basado en Problemas y prácticas experimentales. Estos métodos incluyen el uso de problemas contextuales, investigación independiente, mapas conceptuales, diálogos y trabajo en equipo, con un papel activo del docente en el aprendizaje por descubrimiento (Ramírez-Grisales, 2018; Arrazola Navarro, 2022 y Manjarrés, 2017). Se constató que las prácticas de laboratorio mejoran gradualmente esta competencia y motivan a los estudiantes, sugiriendo la necesidad de su evaluación escrita y oral (Manjarrés, 2017; Rojas y Valdivieso, 2017).

La modelización es un elemento fundamental al hablar de la competencia explicación y es abordado por Heidemann, Araujo y Veit (2018) quienes concluyen que los participantes desarrollan una comprensión más rica de los conceptos teóricos y adquieren competencias prácticas para la construcción y validación de modelos en situaciones experimentales. Los resultados generales indican avances significativos en la comprensión de los conceptos fundamentales de la modelización y en la capacidad de toma de decisiones informadas en la experimentación, pero persisten retos en la aplicación de modelos teóricos y el manejo de variables, sugiriendo una enseñanza más dirigida en estos aspectos.

El trabajo sobre la modelización didáctico-científica de Heidemann, Araujo y Veit (2018) concluye que los participantes no solo desarrollan una comprensión más rica de los conceptos teóricos, sino que también adquieren competencias prácticas para la construcción y validación de modelos en situaciones experimentales. Los resultados generales han indicado avances significativos en la comprensión de los conceptos fundamentales de la modelización y en la capacidad de toma de decisiones informadas durante los experimentos. Sin embargo, identificaron desafíos en la implementación de modelos teóricos de referencia y en la ejecución de procedimientos de control de variables, resaltando la necesidad de una enseñanza más enfocada y práctica en estas áreas.

Los recientes trabajos de Arrazola Navarro (2022), Rodríguez Abril et al. (2021), Pereda García y López Mota (2009), y Ubaque Brito (2009) destacan la importancia del uso de los experimentos para la enseñanza de la Física, dado que el trabajo experimental permite al alumnado explicar los fenómenos que le rodean. Otras investigaciones anteriores llegaron a hallazgos similares, demostrando que el uso de la experimentación facilita el proceso de enseñanza y aprendizaje de la Física en diferentes campos (López Yarid, 2016; Mora Moreno y Aguilar Rodríguez, 2011; Pérez Campo, 2017; Pérez Higuera et al., 2020). Al profundizar en el uso del experimento en el aula se ha encontrado que los ensayos demostrativos brindan la posibilidad de entrar en debates, poder explicar los fenómenos observados, generar hipótesis, vincular los conceptos con la práctica, indagar y analizar los resultados obtenidos (Naranjo et al., 2007; Sandoval Osorio et al., 2018). Además, las diferentes estrategias pedagógicas, ya sean a través de simuladores digitales (Pérez Higuera et al. 2020) o mediante experimentos demostrativos (Caro Rivas, 2022) potencian las competencias de resolución de problemas en el área de Física.

Todos los estudios resaltan que las prácticas experimentales son importantes para el fortalecimiento de la competencia explicación, porque asimilan mejor los conceptos aprendidos en clase, les motiva en la observación diaria de fenómenos científicos y, por último, forma de manera integral al alumnado mediante estrategias que desarrollan el aprendizaje significativo a través del uso de las nuevas tecnologías.

Objetivos

Con la finalidad de fortalecer esta competencia, se plantea el siguiente objetivo de investigación: analizar la contribución de los experimentos demostrativos como estrategia en el desarrollo de la competencia explicación de fenómenos, en el aprendizaje del concepto de campo eléctrico en estudiantes de grado once del colegio José María Vargas Vila IED. Para dar respuesta a esta problemática, se presenta la metodología, posteriormente se describe la secuencia didáctica empleada, así como los instrumentos utilizados en el proceso de recolección de información, y, finalmente se discuten los hallazgos.

Método

La investigación se ha desarrollado bajo el enfoque cualitativo y mediante un estudio de caso. A partir de la referencia de Simons (2011), se trata de un proceso de indagación sistemática y crítica de un caso particular para generar conocimiento sin generalizar a toda una población. Se aborda desde la unicidad hasta la complejidad de las interacciones de las personas involucradas en el caso, se tiene en cuenta la variedad de las circunstancias y su finalidad es generar comprensión acerca del caso estudiado. Asimismo, el estudio de caso está situado en su contexto histórico, siendo el investigador el principal instrumento para la recolección e interpretación de los datos.

La elección de un caso de estudio ha sido un paso crítico, ya que establece el terreno para un análisis profundo y contextualizado. En este estudio, la selección del caso ha seguido un enfoque instrumental, orientado por los objetivos específicos de la investigación y no por la conveniencia o familiaridad del investigador con el caso.

El primer paso del estudio fue seleccionar una institución educativa en Bogotá que ofreciera educación media y tuviera uno de los porcentajes más bajos en la prueba estandarizada nacional que evalúa la calidad de la educación en Colombia (Prueba Saber, 2021). Utilizando un ranking de Milton Ochoa (2023), se identificaron 131 colegios con jornada tarde adecuadas para los investigadores.

En el segundo paso, se evaluó la competencia científica en ciencias naturales de colegios en Bogotá, seleccionando 10 con los peores resultados y deficiencias en la competencia explicación de fenómenos. Se refinó la muestra con criterios como no haber desarrollado previamente el concepto de campo eléctrico, tener entre 20 y 30 estudiantes en un curso de grado once, y, contar con el aval del rector de la institución, así como del profesor de Física para aplicar estrategias basadas en experimentos demostrativos.

Finalmente, el colegio José María Vargas Vila IED fue escogido por satisfacer todos los criterios establecidos y por su contexto socioeconómico y demografía estudiantil. El colegio está ubicado en la periferia de Bogotá, cuya población estudiantil presenta desafíos singulares, que se agravan por las adversidades socioeconómicas y elevados niveles de deserción escolar. En cuanto a las infraestructuras e instalaciones, los laboratorios de Física no cuentan con instrumental para el desarrollo de prácticas experimentales; esta dificultad se sobrellevando mediante actividades diseñadas con elementos caseros y de bajo costo. La valoración integral de este entorno proporcionó un caso único y contextualizado para explorar cómo los experimentos demostrativos acerca del campo eléctrico podrían influir en la comprensión de los estudiantes. Este estudio de caso se desarrolló con 24 estudiantes de grado once de la jornada de tarde, cuyas edades están comprendidas entre 16 a 19 años.

Propuesta de enseñanza de campo eléctrico

La importancia de los experimentos en la enseñanza del electromagnetismo es subrayada en trabajos académicos como los de López Yarid (2016), Mora Moreno y Aguilar Rodríguez (2011), Pérez Campo (2017) y Pérez Higuera et al. (2020), y Naranjo et al. (2007), Sandoval Osorio et al. (2018) y Osorio et al. (2015), que destacan su utilidad en la clarificación de conceptos abstractos y la posibilidad de usar laboratorios de bajo costo diseñados por el docente. Estos experimentos son esenciales para desarrollar la competencia explicativa de los estudiantes (Manjarrés, 2017; Rojas y Valdivieso, 2017; Heidemann, Araujo y Veit, 2018) y se detallan en la Cartilla Campo Eléctrico, disponible en un enlace proporcionado:

https://drive.google.com/file/d/1rYWP15mcP6P3RhrzRTnaWFxvAGdxNscq/view?usp=drive_lin

Actividades previas, *Reglas de juego*. Los estudiantes son divididos en grupos de trabajo, pueden ser voluntarios o aleatorios, a cada uno de los estudiantes se le asigna un rol y se indican las reglas generales de la actividad: compartir información, dividir el trabajo en roles complementarios, estar abiertos a escuchar a otros, entre otras.

Primera actividad, *Construcción del electroscopio*. Tiene por propósito determinar los conocimientos iniciales de los estudiantes acerca de fenómenos electrostáticos, conceptos de carga y fuerza eléctrica, ver sesión uno Cartilla Campo Eléctrico, así como, construir un electroscopio para emplearlo en futuras clases. Entender lo que los estudiantes ya saben es crucial, ya que define los modelos explicativos que usan (Dávila Acedo et al., 2018 y referencias en este), y este conocimiento previo es vital en el diseño de estrategias pedagógicas efectivas (Velasco y Buteler, 2023).

Segunda actividad, *Experimentemos con el electroscopio*. Se cuenta con una lectura inicial que contextualiza al estudiante y le introduce al lenguaje científico de la sesión. Para enlazar ideas, el alumnado realiza un mapa conceptual, seguidamente emplea el electroscopio para analizar diferentes experimentos sencillos que lo llevarán a entender la naturaleza de la carga eléctrica y cómo interacciona con otros objetos. El experimento consiste en frotar una varilla de vidrio y una bomba con diferentes elementos y observar su interacción con el electroscopio.

Los estudiantes registraron sus observaciones, luego se usó en el análisis en grupos focales guiados por el tutor. Esta dinámica, que se repite en las sesiones 3 y 4, consiste en reuniones con un número reducido de estudiantes en las que se profundiza en el razonamiento detrás de las respuestas dadas. Estos grupos deben ser de participación voluntaria.

Tercera actividad, *Visibilicemos lo invisible*. Se usó una fuente de alto voltaje y electrodos de distintas formas, construido por el experimentador previo a la clase, para que los estudiantes experimentaran y entendieran el campo eléctrico. Siguiendo a Collazos et al. (2016), se demostró cómo los prototipos y prácticas empíricas fortalecen la comprensión de la física. Los estudiantes usaron semillas de té para visualizar la influencia del campo eléctrico, respondiendo preguntas en la Cartilla Campo Eléctrico y dibujando la disposición de las semillas en diferentes configuraciones de electrodos: uno redondo, dos redondos con cargas iguales y opuestas, dos anillos opuestos y placas paralelas opuestas.

Cuarta actividad, *Efectos especiales*. En la etapa final, los estudiantes consolidan su habilidad de modelización, aspecto que han venido reforzando a lo largo de las clases al explicar los fenómenos observados. Aunque previamente han empleado el lenguaje

científico y modelos conceptuales para describir lo observado, es en esta actividad donde aplican de manera más intensiva lo aprendido. Aquí, se les reta a explicar situaciones que pueden surgir en su vida diaria o de las que tengan conocimiento, utilizando sus conocimientos recién adquiridos. Para ello, deben formular hipótesis sobre los sucesos, identificando las variables involucradas y las posibles relaciones entre ellas. En esta última sesión, se exploran aplicaciones prácticas del campo eléctrico, como la pintura electrostática, las impresoras láser y el fenómeno de las tormentas eléctricas. Además, se realizan cuatro experimentos clave: la carga y descarga de electrodos pequeños y su relación con el área de carga; el movimiento de un vaso de icopor en un campo eléctrico; la carga de un cascarón esférico adornado con tiras de papel en su perímetro; y la incineración de un papel como resultado de una descarga eléctrica. Borra y escribe. Esta sección debe incluir información suficiente para que otras personas puedan replicarlo.

Técnicas e instrumentos de recolección

Por su parte, la recolección de los datos se ha hecho con tres técnicas y sus respectivos instrumentos. En primera instancia, la observación participante, la cual se realiza en todo el proceso de investigación. Como técnica que tiene un papel activo ya que permite una constante reflexión durante el trabajo de campo en el aula, se registran las percepciones, el lenguaje corporal de los estudiantes, discusiones verbales entre ellos y secuencia de sucesos mientras se desarrollan los experimentos relacionados con el campo eléctrico. Este registro se ha elaborado en un diario de campo en orden cronológico durante las cuatro sesiones de clase que ha durado el proceso de investigación, dado que permite la inmersión en el ambiente educativo, capturando la secuencia de eventos y las reacciones espontáneas de los estudiantes durante los experimentos demostrativos. Simons (2011) destaca que la observación participante permite la inmersión en el ambiente educativo, capturando la secuencia de eventos y las reacciones espontáneas de los estudiantes durante los experimentos demostrativos.

La segunda técnica para la recolección de datos es una entrevista abierta escrita, conforme se puede ver en la Cartilla. En la cartilla, el alumnado ha registrado sus nociones, respondido a preguntas acerca de los conceptos, ha tomado apuntes, ha escrito sus reflexiones, entre otros. La tercera técnica es la entrevista abierta a un grupo focal. Esto ha permitido generar discusiones más abiertas y flexibles en torno a las explicaciones de los experimentos demostrativos. El centro de atención de un grupo focalizado es la narrativa colectiva, la pluralidad y variedad de las actitudes, las experiencias de los participantes (Martínez, 2004).

Tabla 1. Técnicas e instrumentos de investigación.			
Técnica	Instrumento	Característica	Participantes
Observación participante	Diario de campo (OB)	Se registran interacciones y percepciones de estudiantes sobre fenómenos de campo eléctrico y experimentos, aplicada a docentes y estudiantes durante la investigación.	Docentes y estudiantes inmersos en la implementación.
Grupo focal	Cuestionario de preguntas abiertas (GF)	Cuestionario de preguntas abiertas, basado en respuestas previas de los estudiantes para fomentar discusión y construcción colectiva de significados, dirigido a siete estudiantes voluntarios.	Siete estudiantes voluntarios. Se contó en total con 8 grupos focales.
Entrevista abierta	Cartilla	Registran las respuestas a las preguntas abiertas formuladas en el instrumento.	Todos los estudiantes descritos en la muestra.

Cada técnica fue cuidadosamente seleccionada por su alineación con la pregunta de investigación, los estudios de caso y su capacidad para proporcionar información

detallada y contextualizada sobre la influencia de los experimentos demostrativos en la comprensión del concepto de campo eléctrico por parte de los estudiantes y cómo estos aportan al fortalecimiento de la competencia explicación. La combinación de estas técnicas ofreció un enfoque holístico y heurístico para la recolección de datos, permitiendo al investigador capturar y analizar las complejidades del caso de estudio desde múltiples ángulos.

Plan de análisis de datos

En el proceso de análisis de los datos se realizó una codificación abierta, axial y selectiva, según Strauss y Corbin (2002). Los datos se organizaron siguiendo las categorías a priori en dos ramas fundamentales: experimentos demostrativos y competencia explicación de fenómeno, ejes centrales en la fundamentación teórica de la investigación. Resultado de la codificación abierta se identificaron códigos emergentes, que en la codificación axial resultaron en diferentes categorías emergentes. Tras identificar códigos emergentes en la codificación abierta y formar categorías en la codificación axial, se alcanzó la saturación de datos. Este proceso comenzó desde la primera clase y se refinó continuamente hasta establecer las categorías finales, utilizando el software NVIVO Plus para la triangulación entre instrumentos y reforzar las conclusiones, como se muestra en la Figura 2.

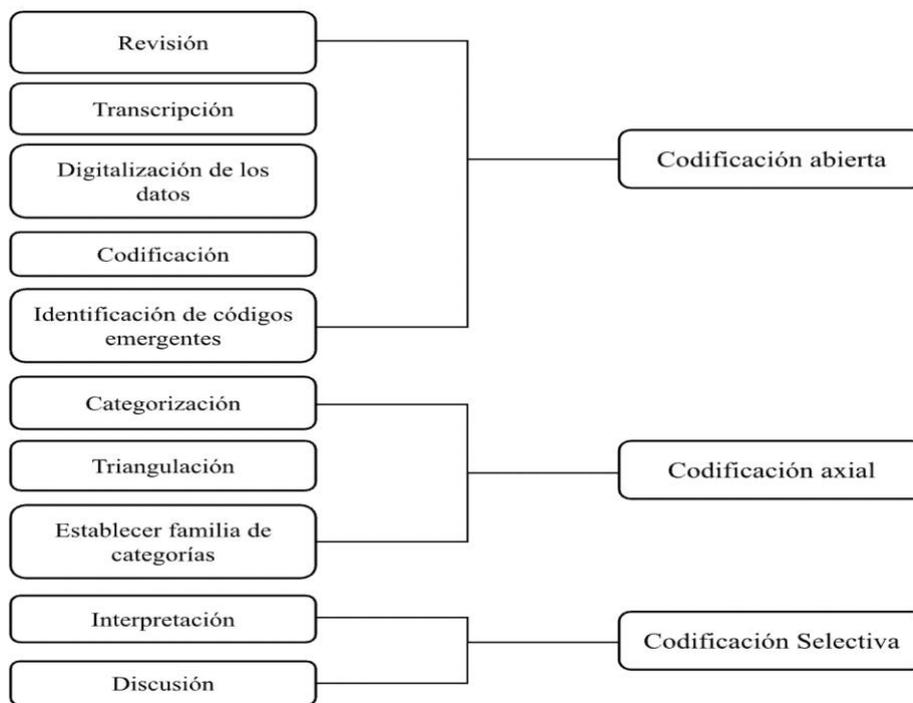


Figura 2. Procedimiento para el tratamiento de los datos. Tomado de Caro Rivas (2022)

Implementación de la secuencia de la propuesta

La propuesta pedagógica se implementó en la institución educativa mencionada anteriormente y con la muestra que se describió. Cada una de las actividades tomó entre 1 y 2 horas y se realizó una clase por semana en total se realizaron 4, el espacio que se utilizó fue el salón o el laboratorio. La actividad final Efectos especiales, jugó un papel evaluativo, puesto que al tener preguntas abiertas los estudiantes debían argumentar sus respuestas, explicar el fenómeno en cuestión y lograr dar cuenta de la modelización.

Resultados

En el análisis de los resultados se revisaron 317 fragmentos de información recolectados en los diferentes instrumentos. Del análisis se propusieron dos categorías centrales denominadas competencia explicación de fenómenos con un 59,3% de los datos (fragmentos de texto) en ella y experimentos demostrativos con un 40,7% de los datos ubicados en ella (fragmentos de texto). La primera categoría se dividió en dos subcategorías llamadas: explicación acerca de los fenómenos electrostáticos y modelación de los fenómenos de campo eléctrico. La segunda categoría se describe con dos subcategorías denominadas visualización de líneas de campo eléctrico y experimentos con el electroscopio.

En la exposición de los resultados, se detallan las unidades de análisis correspondientes a cada herramienta utilizada por los investigadores: diario de campo, cuestionario y cartilla. Se evidencia cómo estos elementos interactúan entre sí. Es crucial destacar que, siendo una implementación progresiva a lo largo del tiempo, los conceptos adquiridos en la primera sesión facilitan la comprensión en las sesiones subsiguientes. Además, al recabar información en cada clase, se observa que las unidades de análisis aportadas por los estudiantes reflejan una evolución o transformación, permitiendo comparar los diferentes momentos de las explicaciones a los fenómenos observados.

Categoría competencia explicación de fenómeno

Para el desarrollo de esta competencia se emplearon experimentos demostrativos y conceptos asociados al campo eléctrico. De acuerdo con el análisis de los datos esta categoría se divide en dos subcategorías que dan cuenta de ella, las cuales serán descritas a continuación.

Subcategoría construcción de explicación acerca de los fenómenos electrostáticos

El Icfes (2021) la define como la elaboración de explicaciones como el uso de las variables que describen un sistema, para este caso particular, las relacionadas con el concepto de campo eléctrico. Al analizar, se evidenció que esta es la subcategoría con mayor codificación (32,1% de la codificación). En ella, se empieza por explorar las nociones iniciales de los estudiantes. Es constantemente indagada en la implementación de la estrategia logrando evidenciar un avance en sus explicaciones acerca de los fenómenos electrostáticos. Para explorar las nociones iniciales que tienen los estudiantes acerca de los fenómenos electrostáticos, se plantea una experiencia en la que dos personas se saludan de mano y sienten un corrientazo, se preguntó al alumnado por qué pasa esto, algunas de las respuestas fueron:

De la Cartilla: “Porque el cuerpo carga con una corriente electrostática, puede que estas personas hayan estado bajo el sol durante su día y por esa razón hay un intercambio de cargas negativas o positivas”.

En los grupos focales 1, 3, 7 y 8:

- “Porque una de las personas está cargada con energía eléctrica y la otra persona no lo está, entonces como que la persona pasa su energía a la otra persona”.
- “Cuando una persona hace ejercicio”.
- “Porque al arroparnos he visto que suenan como rayitos y creo que eso es energía eléctrica”
- “De pronto porque a una persona le caiga un rayo”.

En la Figura 3 se muestran las ideas iniciales de los estudiantes en relación a los fenómenos electrostáticos, de la misma, se puede concluir que los estudiantes atribuyen al proceso de carga como una acumulación de energía o resultado de un proceso de contacto, si tener claridad en las variables que están en juego en el fenómeno de estudio y no construyen explicaciones al interior de conocimiento científico. Siendo energía la palabra, más frecuentemente empleada por los estudiantes para explicar lo observado.

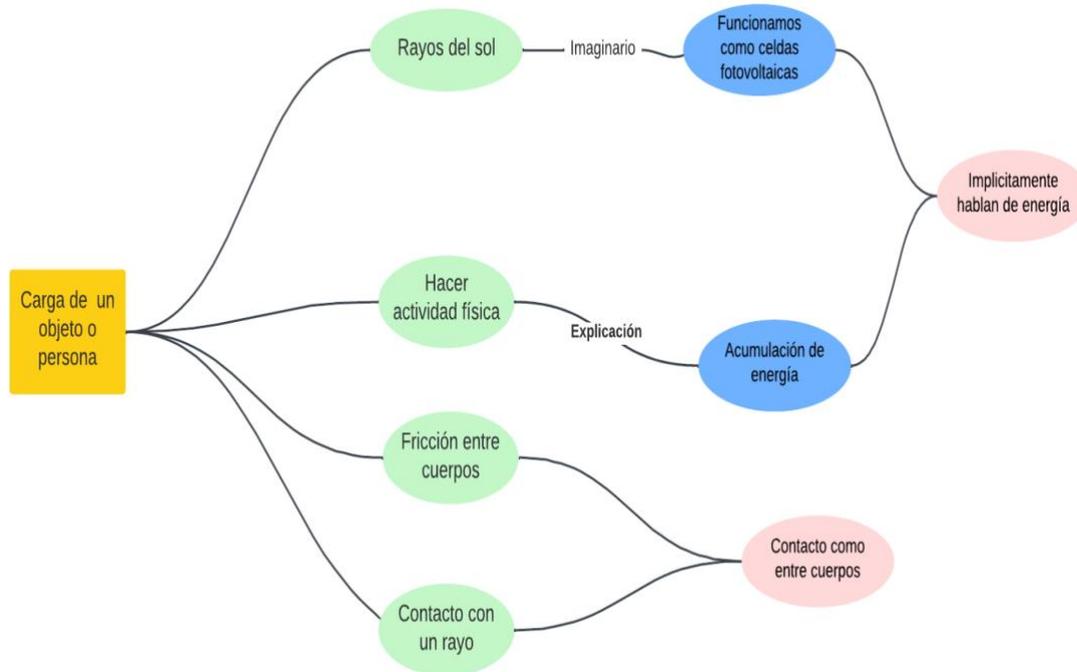


Figura 3. Ideas iniciales de los estudiantes sobre electrostática.

Siguiendo con la exploración de las nociones previas de los estudiantes, se indaga sobre la estructura de la materia y los modelos atómicos. Aunque reconocen que la materia está compuesta por átomos y estos por protones, neutrones y electrones, y asocian lo positivo con protones y lo negativo con electrones, les falta comprensión sobre la escala de estos componentes. Respecto al concepto de carga eléctrica, entienden que un objeto cargado atrae a otros, pero no profundizan en la estructura atómica o las interacciones eléctricas en contextos variados. En términos de la competencia explicativa, se concluye que los estudiantes están en un nivel inicial, identificando variables, pero sin poder explicar fenómenos en diferentes situaciones.

En las sesiones de clase siguientes, se realizaron diferentes experimentos demostrativos que se encuentran descritos en la Cartilla, acompañados por la explicación del investigador y orientados por preguntas, con lo anterior los estudiantes clase tras clase consiguieron proporcionar explicaciones cada vez más completas a los fenómenos haciendo uso adecuado de las variables que los rigen, así como establecer relaciones entre las mismas. En la Figura 4, se muestran las explicaciones proporcionadas por los estudiantes a los fenómenos presentados en los experimentos demostrativos.

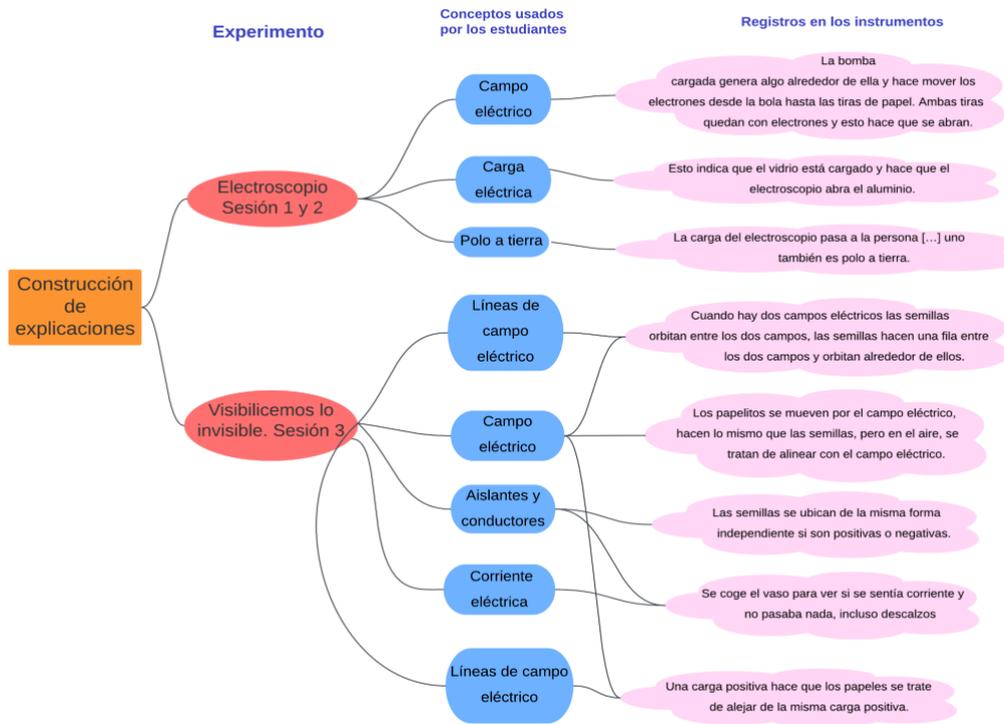


Figura 4. Evolución de la competencia explicación en los estudiantes.

La Figura 4 muestra cómo los estudiantes utilizaron diversos conceptos para construir explicaciones a lo largo de las sesiones de experimentación. Los conceptos incluyen el campo eléctrico, la carga eléctrica, las líneas de campo eléctrico, aislantes y conductores, entre otros. Estos conceptos se usaron para interpretar las observaciones. Los estudiantes notaron, por ejemplo, que la existencia de un campo eléctrico puede dar cuenta de dos experimentos diferentes: el comportamiento de las semillas y los papeles, indicando una comprensión de la influencia de la carga eléctrica en objetos cercanos. También se menciona que tocar el vaso del electroscopio no producía sensación de corriente, si se estaba descalzo, indicando un entendimiento de la conductividad y el polo a tierra.

Al analizar en conjunto las Figuras 3 y 4, se puede inferir que los estudiantes progresaron en su comprensión de los conceptos eléctricos y en su habilidad para construir explicaciones científicas. Inicialmente, los estudiantes tenían nociones generales sobre cómo los objetos o personas podrían cargarse, relacionándolo con actividades cotidianas y procesos naturales. A medida que avanzaban las sesiones experimentales, su comprensión se hizo más sofisticada, utilizando conceptos científicos y términos técnicos para explicar los fenómenos observados. El progreso observado en los mapas conceptuales sugiere que los experimentos demostrativos y la reflexión guiada fueron efectivos para mejorar la competencia explicación de los estudiantes en el contexto del campo eléctrico. Su capacidad para conectar conceptos teóricos con observaciones prácticas y para utilizar el lenguaje científico apropiado parece haberse fortalecido a lo largo de las sesiones.

Subcategoría modelación de los fenómenos de campo eléctrico

Otro elemento importante en la competencia explicación cae en la modelación de los fenómenos físicos, la cual es definida por Rolleri (2013) como una descripción interpretativa basada en idealizaciones, predicciones o proposiciones fundamentadas en la teoría y en la observación de un experimento. Un 27,2% de las unidades de análisis

se asocian a esta subcategoría y fueron afirmaciones de los estudiantes en relación con predicciones, proposiciones o supuestos, provenientes de las observaciones de los experimentos demostrativos, usando los conceptos apropiados para cada uno de ellos.

Esta modelización se aborda en los experimentos realizados con la fuente de alto voltaje creada para la visualización de las líneas de campo eléctrico. El experimento se iniciaba con una pregunta o cuestionamiento que permitía indagar por la capacidad del estudiantado de hacer predicciones, proposiciones o usar idealizaciones, de los experimentos. En la Figura 5 se presentan algunas de las respuestas registradas por los estudiantes en los instrumentos.

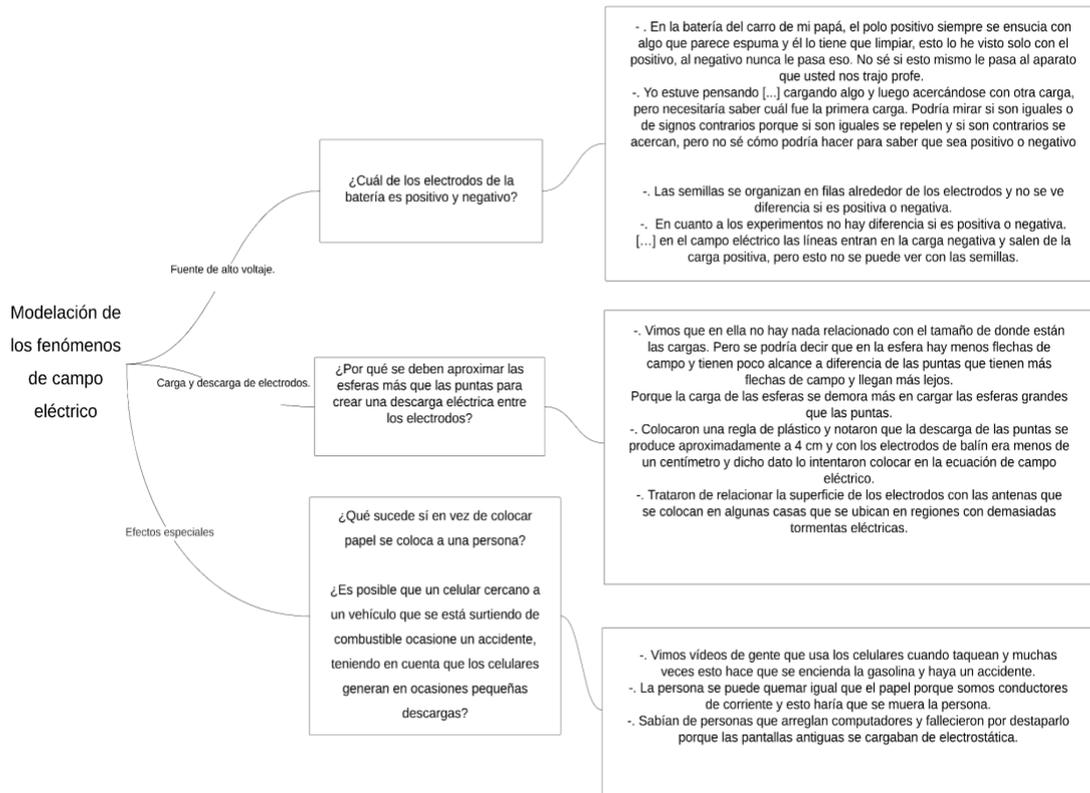


Figura 5. Registros modelación de los fenómenos de campo eléctrico

Los registros muestran un interés de los estudiantes por responder las preguntas desde el análisis más profundo en la observación del experimento hasta la propuesta de un segundo experimento teniendo en cuenta los conceptos asociados a este fenómeno. Plantean un modelo para solucionar el problema.

En estas afirmaciones se concluye que los estudiantes usaron los conceptos de carga, fuerza, campo eléctrico, aislantes y conductores, visto a lo largo de la implementación de la propuesta para hacer predicción de lo que podría pasar. En el caso particular del experimento carga y descarga de los electrodos (ver Figura 4), los estudiantes midieron la distancia en la que ocurría la descarga y registraron que se producía aproximadamente a 4 cm con los electrodos de punta fina y con los electrodos de balín era menos de un centímetro. Dicho dato lo intentaron reemplazar en la ecuación 1 del campo eléctrico:

$$\text{Ecuación 1.} \\ E = k \frac{q}{r^2}$$

Sin embargo, repararon que desconocen el valor de la carga y el valor del campo eléctrico; también notaron que en la ecuación 1 no tiene referencia con el tamaño en donde se ubican las cargas. Por lo anterior, plantean que: en un electrodo con una región grande tarda más en cargarse, lo que le dificulta generar descargas eléctricas en distancias largas. Lo segundo que mencionaron es que en un electrodo pequeño hay más cantidad de líneas de campo eléctrico y esto permite que la descarga se haga a una distancia mayor. Dejando en evidencia que mejoraron en sus procesos de predicción y argumentación, emplearon los conceptos vistos y a partir de estos pudieron llegar a conclusiones acertadas.

En el último de los experimentos se debe resaltar que las proposiciones propuestas por los estudiantes dejan en evidencia que ellos recuerdan los conceptos de aislantes y conductores, y, a su vez, los relacionan con experiencias previas, con el fin de predecir lo que ocurrirá en las situaciones planteadas.

Dentro de esta subcategoría se encontraron varios supuestos y proposiciones, que hicieron los estudiantes frente a preguntas relacionadas con los experimentos. En estas predicciones, ellos usaron relaciones de experiencias previas con las observaciones de los experimentos, emplearon los conceptos para argumentar sus explicaciones, propusieron cambios de variables e incluso, plantearon un segundo o tercer experimento para fortalecer sus explicaciones del campo eléctrico.

Categoría experimentos demostrativos

Los experimentos demostrativos buscan familiarizar a los estudiantes con fenómenos físicos inmediatos de manera cualitativa, utilizando la base de conocimientos científicos para su comprensión (García López, 2002). De esta categoría se analizan dos subcategorías: visualización de líneas de campo eléctrico y experimentos con el electroscopio.

Subcategoría visualización de líneas de campo eléctrico

En los experimentos usados para la visualización de las líneas de campo eléctrico, los estudiantes reconocieron que el movimiento de las semillas está directamente relacionado con la presencia de campo eléctrico. También se encontró que en algunos datos emplearon descripciones como “orbitar” y “filas” para hacer referencia a la alienación de las semillas en presencia del campo eléctrico. Como se evidencia en el siguiente segmento tomado de la bitácora: “cuando hay dos campos eléctricos las semillas orbitan entre los dos campos, las semillas hacen una fila entre los dos campos y orbitan alrededor de ellos”. Del grupo focal se encontró: “las semillas tratan de orbitar o de ubicarse alrededor del electrodo, se alinean hasta formar filas desde un electrodo hasta el otro. Al menos había cinco filas”.

A su vez, con los electrodos de la misma carga eléctrica concluyeron que, existe una desviación de las líneas de campo visibilizado con las semillas de té en la que aparentemente aparece una barrera que no permite unir las líneas de campo, de hecho, se tratan de repeler. Por último, en el experimento con las placas paralelas los estudiantes manifestaron que la organización de las semillas es más organizada, se veían “las filas” de campo más definidas.

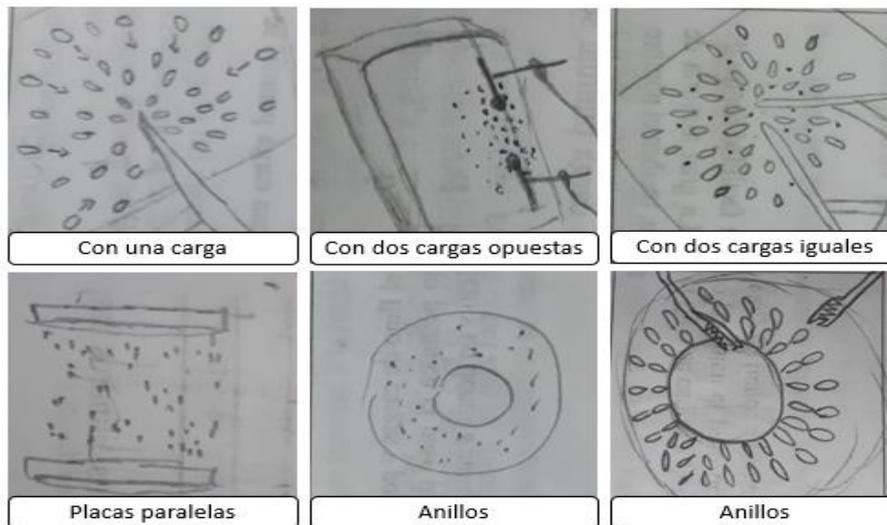


Figura 6. Representación de las líneas de campo eléctrico. Toma de Caro Rivas 2022.

En esta subcategoría se pudo observar que los estudiantes usaron términos para mencionar la alineación de las semillas. El lenguaje científico más aproximado a esta descripción es que las semillas se superponen a la presencia del campo eléctrico, pero esta afirmación no se mencionó con los estudiantes previamente y tampoco aparece en sus conclusiones. En cuanto a los experimentos, estos fueron apropiados debido a que lograron mostrar la diferencia de las líneas de campo eléctrico producida por diferentes electrodos como se aprecia en los dibujos que hicieron los estudiantes y que se muestran en la Figura 6. A su vez, consiguieron comprender que el movimiento de las semillas es un efecto de dicho campo, cuanto mayor sea la intensidad de este, mejor se verán las líneas del campo eléctrico.

Subcategoría experimentos con el electroscopio

El electroscopio es un instrumento para determinar la presencia de cargas eléctricas en un cuerpo y su funcionamiento se puede hacer por contacto o por inducción (Mendoza, 2002). Ante ello, en los resultados de esta subcategoría se ubicaron datos relacionados con la presencia de cargas en un cuerpo y datos con la observación de cargar el instrumento tanto por contacto como por inducción. Para esta experiencia, los estudiantes construyeron sus propios electroscopios.

Con este instrumento se hicieron tres prácticas. La primera consistía en frotar la bomba con el cabello de una persona y luego, aproximarla al aparato sin tocarlo. En esta primera práctica los estudiantes concluyeron que su funcionamiento se debe a la captación de una señal producida por la bomba. La segunda conclusión se relaciona con el concepto de energía: la bomba al ser frotada adquiere energía y con ello es capaz de atraer objetos. En la última explicación se argumenta que, en presencia de una carga eléctrica, el electroscopio separa las tiras de papel.

La segunda práctica con el electroscopio consistía en frotar la varilla de vidrio con seda y aproximarla sin tocar el electroscopio. Se esperaba aproximar a los estudiantes a la teoría que indica que el vidrio queda cargado positivamente, mientras que el plástico queda cargado negativamente. Los hallazgos no fueron sobresalientes, solo indicaron que tanto la bomba como el vidrio quedan cargados luego de ser frotados y el vidrio tarda más en cargarse.

Con la tercera práctica usando el electroscopio se aproximaba a los estudiantes a la carga por contacto (tocar la bomba con el electroscopio produce que las tiras de aluminio queden separadas aun cuando se retira la bomba) y al polo a tierra. Los estudiantes indicaron que la carga del electroscopio pasa a la persona debido a que la persona puede extraer excesos de cargas de otros objetos, como un polo a tierra. De esta subcategoría se puede observar que los estudiantes comprendieron que el electroscopio se activa en presencia de carga eléctrica y sus explicaciones son apropiadas en la mayoría de los estudiantes. Sin embargo, persiste el registro de datos del experimento sin el uso apropiado de los conceptos de campo eléctrico.

Discusiones

Es importante recordar que la competencia explicación se abordó en esta investigación desde dos ramas: explicación acerca de los fenómenos electrostáticos y modelación de los fenómenos de campo eléctrico. Para desarrollar esta competencia se emplearon diferentes experimentos demostrativos que han centrado la atención en la observación y descripción cualitativa de los fenómenos de campo eléctrico, contribuyendo a mejorar la capacidad de argumentación (Ospina, 2018; Manjarrés, 2017; Rojas y Valdivieso, 2017). Esto coincide con los resultados obtenidos por Manjarrés (2017), quien expresa que los estudiantes prefieren los experimentos para su aprendizaje ya que les permite la manipulación de los elementos y evidenciar la relación entre lo teórico y lo práctico, lo que concuerda con los hallazgos de Rojas y Valdivieso (2017). Asimismo, los resultados de esta investigación coinciden con los de Ospina (2018) al evidenciar que los estudiantes mostraron capacidad argumentativa para explicar sus razonamientos basados en los experimentos, donde compararon y analizaron los fenómenos de campo eléctrico, y, complementaron con consulta extra-clase para obtener una conclusión coherente de sus observaciones. A su vez, con la integración de los experimentos al desarrollo de los conceptos se ha encontrado que los estudiantes elaboran sus explicaciones inicialmente con lo que ellos ya conocen y tratan de relacionarlo con lo que están aprendiendo.

Ahora bien, la competencia *explicación de fenómenos* no solo trae consigo la elaboración de explicaciones, sino también, la capacidad de plantear supuestos y deducciones con la ayuda de los experimentos, modelización. En línea con los hallazgos de Heidemann, Araujo y Veit (2018), este estudio refleja avances significativos en la habilidad de los estudiantes para tomar decisiones informadas y aplicar conceptos teóricos durante los experimentos. No obstante, las dificultades identificadas en la implementación de modelos teóricos de referencia y en la ejecución de procedimientos de control de variables destacan la necesidad de una pedagogía que integre profundamente la teoría con la práctica experimental, un enfoque que ha demostrado su valor en la literatura existente (Gómez & Marulanda, 2006; García López, 2002).

A modo de cierre, es importante mencionar que la implementación de modelos teóricos de referencia y en la ejecución de procedimientos de control de variables sugieren que la enseñanza de la Física debe continuar evolucionando para proporcionar experiencias de aprendizaje más integradas y aplicadas. Las observaciones de la presente investigación apoyan la idea de que el aprendizaje de esta disciplina se beneficia enormemente de una estrategia de enseñanza que incluye la modelización y la práctica experimental como elementos clave, en consonancia con las recomendaciones de Rolleri (2013) y la propuesta de enseñanza por competencias descrita por Culzoni et al. (2020) y Farina et al. (2019). Este enfoque integrado no solo promueve una comprensión conceptual más sólida, sino que también prepara a los estudiantes para aplicar su conocimiento en situaciones prácticas y resolver problemas complejos, un objetivo educativo fundamental en la era moderna.

Conclusiones

La contribución de los experimentos demostrativos como estrategia para el desarrollo de la competencia científica en la *explicación de fenómenos*, en el contexto del aprendizaje del concepto de campo eléctrico en estudiantes de grado once del colegio José María Vargas Vila IED, es significativa. Los experimentos demostrativos han revelado ser una herramienta eficaz para motivar a los estudiantes, fomentando su participación, curiosidad y capacidad para formular preguntas y argumentos sólidos. Estos aspectos son cruciales para el desarrollo de la competencia explicación. Además, se ha logrado abordar sus dos pilares centrales: la capacidad de explicar fenómenos y la habilidad para modelarlos. A través de los experimentos demostrativos, los estudiantes no solo mejoraron en la *explicación de fenómenos* electrostáticos y el concepto de campo eléctrico, sino que también avanzaron en la modelación de estos fenómenos. Esto se evidenció en su habilidad para visualizar y representar conceptos abstractos de forma concreta, utilizando modelos y analogías, lo que refleja una comprensión más profunda y aplicada de los conceptos físicos estudiados. Este enfoque práctico y experiencial ha demostrado ser una herramienta valiosa para desarrollar una comprensión integral y aplicada de los conceptos científicos, esencial para el aprendizaje efectivo en las ciencias naturales, como la física. Otro hecho a resaltar es la mejora por parte de los estudiantes en el uso de lenguaje científico para sus explicaciones.

Finalmente cabe resaltar que se identificaron áreas de mejora en la metodología de enseñanza, como la necesidad de incorporar lecturas narrativas que faciliten la comprensión y la diferenciación entre tipos de cargas eléctricas y una mayor apropiación de lenguaje científico por algunos de los estudiantes en sus explicaciones finales. Estas recomendaciones están orientadas a optimizar la efectividad de los experimentos demostrativos y a fortalecer aún más la competencia explicativa de los estudiantes.

Referencias

- Alarcón Díaz, M (2016). Alcances y limitaciones de la enseñanza abierta de la física, en el fortalecimiento de la competencia uso comprensivo del conocimiento científico. [Tesis de Maestría, Universidad de la Sabana].
- Arrazola Navarro, RA (2022). Estrategia para el desarrollo del aprendizaje significativo de la competencia explicación de fenómenos físicos en estudiantes de décimo, Institución Educativa Distrital de la Paz. [Tesis de Maestría, Universidad Magdalena].
- Caicedo Mina, Z (2022). Estrategia pedagógica con la metodología ABP apoyada en simuladores para el desarrollo de la competencia explicación de fenómenos físicos en quinto grado en Buenaventura. [Tesis de Maestría, Universidad de Santander].
- Caro Rivas, M (2022). Alcances y limitaciones de la enseñanza abierta de la física, en el fortalecimiento de la competencia uso comprensivo del conocimiento científico. [Tesis de Maestría, Universidad de la Sabana]. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24746.16321>
- Cyrulies, E (2022). Experiencias de electromagnetismo con un interesante y sencillo motor eléctrico. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias (REurEDC)*, 19(3).
- Coll, C (1996). Constructivismo y educación escolar: ni hablamos siempre de lo mismo ni lo hacemos desde la misma perspectiva epistemológica. *Anuario de Psicología*, 69, 154–173.
- Collazos, CA, Otero, HR, ..., & Mora, C (2016). Diseño y Construcción de una Máquina de Wimshurst para La Enseñanza de la Electroestática. *Formación Universitaria*, 9(5), 107-115.
- Cordero, H, Lombardi, G, ..., & Contreras, E (2017). El Teatro Como Estrategia Movilizadora de Emociones y Actitudes Hacia las Clases de Física. *Investigações Em Ensino De Ciências*, 22(1), 189–221.
- Culzoni, C, Lescano, A, ..., & Bircher, G. (2020). Propuesta didáctica para la enseñanza de electromagnetismo basada en competencias. *Revista de Enseñanza de la Física*, 32(2), 7–18.
- Dávila Acedo, MA, Borrachero Cortés, AB, ..., & Sánchez Martín, J (2018). Factores afectivos y cognitivos en el aprendizaje de los cambios físicos y químicos de la materia en alumnos de Educación Secundaria. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 44, 91–110.
- Farina, JA, del Greco, D, ..., & Concari, S (2019). Competencias y Problemas experimentales en prácticas de laboratorio. *Revista de Enseñanza de la Física*, 31(Extra), 311–318.
- García López, P (2002). El uso de experimentos demostrativos en la enseñanza de la dinámica [Universidad Autónoma Nueva León].
- Gómez, y Marulanda, J (2006). Experimentos en el aula de clase para la enseñanza de la física. *Revista Colombiana de Física*, 38(2), 697–705.
- Gon, F, & Agosta, R (2020). Método alternativo de evaluación por competencias en alumnos de Física en carreras de Ingeniería.

Revista de Enseñanza de La Física, 32(Extra), 163–170.

Heidemann, LA, Araujo, IS, & Veit, EA (2018). Dificuldades e Avanços no Domínio do Campo Conceitual da Modelagem Didático-Científica: Um Estudo de Caso em uma Disciplina de Física Experimental. *Investigaciones En Enseñanza De Las Ciencias*, 23(2), 352–382.

Icfes (2021). Marco de referencia de la prueba de ciencias naturales Saber 11.º Dirección de Evaluación, Icfes.

López Yarid, GK (2016). Estrategia metodológica para mejorar el aprendizaje del electromagnetismo a través del uso de experimentos demostrativos. [Tesis de maestría, Maestría en Educación en Física, Universidad de Carabobo].

Manjarrés, J (2017). Incorporación de prácticas de laboratorio para el desarrollo de la competencia explicación de fenómenos. [Tesis de maestría, Universidad del Norte].

Martínez, M (2004). Ciencia y arte en la metodología cualitativa. México: Trillas.

Mendoza, J (2002). Física (8ª ed.). Distribución.

Milton Ochoa. (Octubre de 2023). Clasificación Planteles - año 2021. <https://miltonochoa.com.co/web/?s=2021>

Ministerio de Educación Nacional. (2006). Estándares Básicos de Competencias en Lenguaje, Matemáticas, Ciencias y Ciudadanas.

Mora Moreno, M, & Aguilar Rodríguez, F (2011). Propuesta didáctica para la enseñanza y aprendizaje de conceptos físicos básicos a partir del uso del video de ciencia ficción y prácticas de aula demostrativas. *Revista Científica*, 13, 1–7.

Naranjo, DB, Zayas, AC, ..., & Parrado, ALM (2007). El experimento demostrativo en las clases de ciencias naturales de secundaria básica: una variante metodológica para su desarrollo y perfeccionamiento. *Ensaio Pesquisa Em Educação Em Ciências (Belo Horizonte)*, 9(2), 290–304.

Ospina, D (2018). Caracterización del modelo de carga eléctrica y fuerza eléctrica siguiendo la propuesta de enseñanza por investigación orientada con estudiantes de grado noveno. [Tesis de Maestría, Universidad Pedagógica Nacional].

Osoño, B, Mejía, L, ..., & Covaleta, R (2015). El papel de la actividad experimental en la enseñanza y aprendizaje del electromagnetismo en la educación superior, *Revista Científica*, 22, 85-96.

Prahani, BK, Saphira, HV, ..., & Sulaeman, NF (2022) Trend and visualization of virtual reality & augmented reality in physics learning from 2002-2021. *Journal of Turkish Science Education*, 19(4), 1096-1118.

Pereda García, S, & López Mota, A (2009). Diseño de una estrategia didáctica para propiciar el cambio conceptual sobre electrostática en alumnos de secundaria. *Revista Enseñanza de las Ciencias*.

Pérez Higuera, G, Niño Vega, JA, & Fernández Morales, FH (2020). Estrategia pedagógica basada en simuladores para potenciar las competencias de solución de problemas de física. *Revista científica electrónica arbitrada en Ingeniería y Administración* 8(3), 17-23.

Pérez Campo, CL (2017). Enseñanza de la ley de inducción de Faraday con experimentos sencillos, materiales de bajo costo y de fácil consecución. [Tesis de maestría, Universidad Nacional].

Pontes Pedrajas, A (2022). Uso didáctico de un laboratorio virtual para favorecer la progresión de los modelos mentales de los estudiantes sobre circuitos de corriente eléctrica. *Bordón. Revista De Pedagogía*, 74(4), 145–160.

Ramírez Grisales, C (2018). Desarrollo de la competencia científica "explicar" en ciencias naturales, en estudiantes del grado décimo de la I. E. Alfredo Bonilla Montaña [Tesis de Maestría, Universidad ECES].

Rodríguez Abril P, Rodríguez Hernández, AA, & Avella Forero, F (2021). Evaluación de simuladores como estrategia para el aprendizaje de la electricidad en la asignatura de física en la educación media. *Revista Redipe* 10(8), 219-237.

Rojas, D, & Valdivieso, M (2017). Diseño y aplicación de una secuencia didáctica en torno a prácticas experimentales desde física y química para el desarrollo de la argumentación basada en pruebas. [Tesis de Maestría, Universidad Distrital Francisco José de Caldas] Repositorio institucional (p. 106).

Rolleri, JL (2013). ¿Qué son los modelos físicos? *Valenciana*, 6(11), 271–288.

Sandoval Osorio, S, Malagón, JF, ..., & Tarazona Vargas, L (2018). Una perspectiva fenomenológica para la enseñanza de las ciencias.

Santafé, Y (2017). Fortalecimiento de competencias científicas en la asignatura de física para estudiantes de undécimo grado en Colombia. *Eco matemático*, 8(1), 34-42.

Schunk, D (2012). Teorías del Aprendizaje. Una perspectiva educativa (4ª ed.). Pearson.

Simons, H (2011). El estudio de caso: Teoría y práctica (1ª ed.). Ediciones Morata, S.L.

Strauss & Corbin (2002). Bases de la investigación cualitativa. Técnicas y procedimientos para desarrollar la Teoría Fundamentada. Medellín: Universidad de Antioquia.

Ubaque Brito, KY (2009). Experimento: una herramienta fundamental para la enseñanza de la física. *Góndola*, 4(1), 35–40.

Vanegas, G (2023, 5 de diciembre). Pruebas PISA: Colombia cae en matemáticas, lecturas y ciencia. *El País*.

Velasco, N, & Buteler, L (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), 280201.