

Artículo

Secuencia de enseñanza y aprendizaje (SEA) sobre Electrostática para enseñanza básica: resultado de un acompañamiento docente

Teaching and learning sequence (TLS) on Electrostatics for middle school: result of a pedagogical support experience

Nicolás Garrido-Sánchez ^{1*}

¹Departamento de Física, Universidad de Santiago de Chile, Chile

***Autor de Correspondencia:** nicolas.garrido@usach.cl.

CITACIÓN

Garrido-Sánchez, N. (2025). Secuencia de enseñanza y aprendizaje (SEA) sobre Electrostática para enseñanza básica: resultado de un acompañamiento docente. *Revista de Inclusión Educativa y Diversidad (RIED)*, 4(1), 1-15. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18877951>

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Recibido: 19 de Agosto, 2025
Aceptado: 04 de Marzo, 2026
Publicado:

DERECHOS DE AUTOR



Los autores conservan sus derechos de autor. La Revista de Inclusión Educativa y Diversidad (RIED) publica los trabajos bajo la licencia Creative Commons Attribution (CC BY-NC 4.0).

Resumen. Ante la necesidad de plasmar los principios de la inclusión en las aulas de ciencia, elaboramos una secuencia de enseñanza y aprendizaje (SEA) sobre electrostática diseñada para estudiantes de 10 años del sistema escolar chileno, considerando el Diseño Universal del Aprendizaje (DUA), la literatura especializada en didáctica de la ciencia y la enseñanza de la electrostática. Mediante un análisis cualitativo de 323 respuestas escritas (texto y dibujo) recolectadas a lo largo de la secuencia, se evidencia una evolución conceptual al usar los mecanismos de electrización para explicar fenómenos de transferencia (pasando de un 28% a un 68% de logro) y de reordenamiento de cargas (de un 8% a un 53% para la inducción, y de un 19% a un 82% para la polarización). Se concluye que la SEA promueve aprendizajes en torno al modelo de distribución e interacción de cargas, y que la incorporación del DUA (en especial los principios 1 y 2) fue beneficiosa al permitir a los estudiantes trabajar con conceptos abstractos y ofrecer distintas formas de acceder a sus modelos mentales. Se destaca también la capacidad de trabajar fenómenos electrostáticos desde un enfoque de modelización con la diversidad de estudiantes de enseñanza básica, y la necesidad de aumentar la investigación disponible en esta área.

Palabras clave: electrostática, modelización, enseñanza básica, secuencia de enseñanza y aprendizaje, innovación didáctica

Abstract. In response to the need to embody the principles of inclusion in science classrooms, we designed a teaching and learning sequence (TLS) on electrostatics for 10-year-old students in the Chilean school system, considering the Universal Design for Learning (UDL), the specialized literature in science education, and the teaching of electrostatics. Through a qualitative analysis of 323 written responses (text and drawings) collected throughout the sequence, a conceptual evolution is evidenced in the use of electrification mechanisms to explain transfer phenomena (increasing from 28% to 68% achievement) and charge redistribution (from 8% to 53% for induction, and from 19% to 82% for polarization). We conclude that the TLS promotes learning around the model of charge distribution and interaction, and that the incorporation of UDL (especially principles 1 and 2) was beneficial by allowing students to work with abstract concepts and offering different ways to access their mental models. We also highlight the capacity to work on electrostatic phenomena from a modeling approach with the diversity of elementary school students, and the need to increase the research available in this area.

Keywords. electrostatics, modeling practices, middle-school teaching, teaching and learning sequence, didactic innovation.

1. Introducción

El trabajo de los docentes en el aula escolar actual presenta múltiples desafíos que requieren modificar las formas en que tradicionalmente se ha enseñado a los estudiantes. Por un lado, existe un currículum que evoluciona constantemente debido a las demandas del presente y que exige poner el foco en el desarrollo de las habilidades de los estudiantes más que en el traspaso de contenidos declarativos. Por otro lado, la presencia de aulas diversas, con estudiantes que presentan diferentes estilos y/o barreras para el aprendizaje, habilidades y

limitaciones, requiere conocimientos y estrategias que permitan diseñar e implementar clases aptas para todos.

Este contexto exige un rol activo de parte de los docentes, quienes deben mantener sus conocimientos pedagógicos y didácticos actualizados, y atreverse a innovar para mejorar su labor educativa. El trabajo del docente debe comenzar antes de la clase, con un diseño apropiado y sustentado en evidencia e investigación. Elaborar Secuencias de Enseñanza-Aprendizaje (SEA) y someterlas a constante evaluación y refinamiento tras su implementación es beneficioso y esencial para una efectiva labor docente.

Una SEA es una actividad de investigación e intervención y un producto a la vez. Este instrumento incluye actividades investigadas de enseñanza-aprendizaje adaptadas al razonamiento de los estudiantes, y en ocasiones, directrices para que otros profesores puedan implementarla (Méheut & Psillos, 2004). En su diseño es necesario tener en cuenta elementos como el contexto educativo, aspectos epistemológicos del tema a tratar (Guisasola et al., 2021), la gradualidad del lenguaje, la diversificación de representaciones (Cheung et al., 2025), la presencia de instancias de discusión entre pares y con el docente (Li et al., 2022), la secuenciación de etapas (Domènech-Casal, 2017) y las ideas alternativas y los razonamientos espontáneos (Viennot, 2001). Con todos estos antecedentes es posible crear una propuesta de trayectoria de aprendizaje que puede implementarse y ponerse a prueba en el aula escolar. En el caso del aula de ciencias, el uso de una SEA permite reflexionar y orientar la progresión de aprendizaje hacia el desarrollo de habilidades científicas, que son el núcleo mismo de la disciplina.

Existen muchos debates y discusiones en torno a la inclusión en las aulas chilenas; sin embargo, nos preguntamos: ¿cómo plasmar dichas ideas en la clase de ciencia? Consideramos necesario trabajar en propuestas concretas que permitan orientar a los docentes hacia el diseño de clases que fomenten la participación y el aprendizaje de todo el alumnado. Además, creemos en el rol de la escuela y los docentes como agentes activos, capaces de desarrollar sus propias investigaciones, en vez de solamente recibir los resultados de aquellas llevadas a cabo por el nivel central o la academia (Guevara & Cisterna, 2025).

Así, nos planteamos la interrogante: ¿cómo evolucionan las ideas de un grupo de estudiantes cuando trabajan el modelo de distribución e interacción de cargas en una SEA? Este artículo presenta una secuencia de enseñanza y aprendizaje (SEA) sobre electrostática diseñada en base a los principios del Diseño Universal del Aprendizaje (DUA) e implementada en Chile con estudiantes de 10 años en el marco de un acompañamiento docente donde la profesora del establecimiento tuvo un rol fundamental.

La propuesta se inspira en los trabajos de Garrido et al. (2019, 2021), quienes han desarrollado estrategias para la enseñanza de la electrostática en la formación inicial de profesores de física. En este caso, se adapta su enfoque al nivel escolar, manteniendo la estructura metodológica y los criterios de análisis de datos, con el objetivo de explorar su replicabilidad y pertinencia en contextos de enseñanza básica. La innovación que se propone se caracteriza por tres elementos. Primero, la adaptación de una metodología universitaria al nivel escolar. Segundo, la incorporación de una lógica de progresión conceptual que permite a los estudiantes construir significados sobre la electricidad desde sus propias experiencias y representaciones. Tercero, la incorporación de los principios del DUA en el diseño de clases de física, que se traduce en la posibilidad de que los estudiantes expresen sus ideas mediante múltiples formas de representación (montajes reales y simuladores virtuales), de expresión (dibujos y explicaciones escritas), y de implicación (actividades grupales e individuales), permitiendo así la participación de más estudiantes y favoreciendo el acceso a sus modelos mentales. Esta propuesta busca contribuir a la discusión sobre cómo introducir contenidos de física, específicamente electrostática, en la educación básica de manera efectiva e inclusiva. En un mundo cada vez más electrificado, comprender los fundamentos de la electricidad desde edades tempranas se vuelve no solo deseable, sino necesario.

Inclusión en la clase de Física

La clase de Física, al igual que cualquier disciplina escolar, puede presentar desafíos significativos para diferentes estudiantes. Dificultades con el lenguaje especializado o con el uso de números y operaciones matemáticas son solo algunos de los que ha evidenciado la literatura (Furió et al., 2004). En este contexto, el DUA puede ser una herramienta de ayuda para el diseño de clases, ya que permite múltiples formas de representación (principio 1),

expresión (principio 2) e implicación (principio 3), dando así a los estudiantes más oportunidades de acceder al conocimiento y de ponerlo en práctica. Kirsch et al. (2024) encontraron además una mejora en la participación y motivación estudiantil al implementar esta herramienta en la clase de física. Barrón-Hernández y Ramírez-Díaz (2023) también reportaron beneficios al incorporar el DUA en el trabajo con estudiantes con trastorno por déficit de atención con hiperactividad (TDAH). Pannullo et al. (2025) señalan que uno de los beneficios del DUA por sobre otros enfoques que buscan fomentar la inclusión es que es proactivo en vez de reactivo. Es decir, desde un inicio se diseña la clase teniendo en cuenta a la diversidad del alumnado, en vez de proponer ajustes a medida que aparecen las necesidades específicas de los estudiantes.

Aunque existen propuestas metodológicas que adaptan el DUA a la enseñanza de la física en niveles superiores (Barrón & Ramírez, 2021), la literatura científica sobre su aplicación en la educación básica chilena sigue siendo escasa, lo que evidencia una oportunidad de investigación y desarrollo pedagógico en este nivel educativo.

Modelización: Práctica Clave para la Enseñanza de la Electroestática

La enseñanza de la electrostática representa un desafío tanto conceptual como didáctico (Furió et al., 2004). A pesar de su relevancia para la comprensión de fenómenos cotidianos y su potencial para introducir nociones fundamentales de la física, este contenido suele estar ausente o escasamente desarrollado en los programas de enseñanza básica. En este contexto, se hace necesario diseñar propuestas pedagógicas que permitan abordar la electrostática de manera accesible, significativa y coherente con el desarrollo cognitivo de los estudiantes.

En el currículo chileno para quinto básico (estudiantes de 10 años), se establece como objetivo de aprendizaje para la unidad de ciencias físicas y químicas: "Observar y distinguir, por medio de la investigación experimental, los materiales conductores (cobre y aluminio) y aisladores (plásticos y goma) de electricidad, relacionándolos con la manipulación segura de artefactos tecnológicos y circuitos eléctricos domiciliarios" (MINEDUC, 2018, p. 102). Sin embargo, antes de abordar el estudio de los circuitos eléctricos, es fundamental introducir la naturaleza eléctrica de la materia a través de fenómenos electrostáticos. Esta aproximación permite establecer una progresión conceptual coherente, tal como lo sugieren Bensegghir y Closset (1996) y Viennot (2003), quienes destacan la importancia de construir una base conceptual sólida sobre la electricidad, desde el pensamiento con y sobre los modelos atómicos (Echeverri-Jimenez & Balabanoff, 2024), hasta la introducción de modelos más complejos como los circuitos.

Para esto, la modelización puede ser un enfoque de gran ayuda. La modelización es el proceso en el que los estudiantes construyen, usan, evalúan y revisan modelos en la clase de ciencia para interpretar, predecir y explicar fenómenos (Ke & Schwarz, 2021). Uno de sus beneficios es que ayuda a los estudiantes a reexaminar sus modelos mentales (Adúriz-Bravo & Izquierdo-Aymerich, 2009), los que luego pueden usar para analizar los distintos fenómenos que se les presentan. Además, ayuda a desarrollar la capacidad argumentativa de los estudiantes mediante la toma de decisiones, la elaboración de justificaciones, y la necesidad de comunicarse con otros para alcanzar acuerdos (Evagorou et al., 2020). Este proceso también facilita el aprendizaje de la naturaleza de las ciencias (Adúriz-Bravo, 2020) en general, pues permite enseñar cómo y por qué se usan los modelos.

Para iniciar un proceso de modelización, el docente debe conocer en profundidad los elementos del modelo científico escolar (MCE) que pretende enseñar. Los MCE son conjuntos de ideas que permiten explicar y predecir fenómenos naturales de manera coherente con el nivel de desarrollo de los estudiantes y los objetivos curriculares. Estos nacen de la transposición didáctica y son coherentes con el modelo científico (Adúriz-Bravo & Izquierdo-Aymerich, 2009). Estos modelos no son versiones simplificadas de los modelos científicos formales, sino herramientas cognitivas que permiten a los estudiantes organizar sus experiencias y construir significados progresivamente más complejos que permiten movilizar sus ideas. El trabajo con MCE ha demostrado ser efectivo para el aprendizaje de diversos fenómenos, como la evaporación y la condensación (Baek et al., 2011), la división celular mitótica (López-Cortés et al., 2021), la materia y sus partes (Archer et al., 2007), el efecto punta y la jaula de Faraday (Garrido et al., 2021), y la contaminación del aire por material particulado (Solé et al., 2023), entre otros. Por lo tanto, invitar a los estudiantes a pensar en modelos puede implicar una mejoría considerable de las propuestas de enseñanza (Izquierdo-Aymerich & Adúriz-Bravo, 2003).

La evolución de las ideas que componen los MCE en la mente de los estudiantes puede ser comprendida dentro de una lógica de progresión de aprendizaje, que articula el currículo, la enseñanza y la evaluación en torno a trayectorias conceptuales posibles y deseables (Kaldaras et al., 2021). En este sentido, investigaciones recientes han mostrado cómo el uso de estrategias didácticas específicas —como laboratorios virtuales (Pedrajas, 2022) o la combinación de actividades reales y virtuales (Bozzo et al., 2022)— puede favorecer el desarrollo de modelos mentales más sofisticados sobre la electricidad.

Enseñanza Basada en Modelos: El Caso de la Electrostática

Para el trabajo presentado en este artículo, creamos una SEA que aborda el modelo electrostático de distribución e interacción entre cargas (M-DIC) presentado por Garrido et al. (2019). Estas ideas relacionadas nos permiten predecir diferentes fenómenos electrostáticos como, por ejemplo: la atracción de pequeños papeles con una regla de plástico, descargas eléctricas producidas al contacto entre objetos, la atracción de globos a una pared tras frccionarlos contra el cabello o contra un paño, entre otros.

El concepto de electrización puede ser entendido como el proceso de desequilibrio entre las cargas negativas y positivas en un cuerpo u objeto. Este desequilibrio se produce por dos métodos: la transferencia y el reordenamiento de cargas. Sin embargo, la transferencia y el reordenamiento no se dan de la misma manera en todos los materiales. Para este contexto, podemos señalar que existen dos tipos de materiales: conductores y aislantes (dieléctricos). La relación entre estos métodos y los tipos de materiales permite distinguir los mecanismos de electrización. A continuación, se describen los mecanismos de electrización que constituyen el M-DIC:

- a) Frotación o Fricción: Se produce por la transferencia de electrones entre dos dieléctricos, generando que ambos cuerpos queden con carga en exceso en el lugar en que fueron frotados.
- b) Polarización: Se produce por el reordenamiento del dipolo de un dieléctrico en función de una carga externa.
- c) Inducción: Se produce por el reordenamiento de los electrones por toda la superficie de un conductor en función de una carga externa.
- d) Contacto: Se produce por la transferencia de electrones de un cuerpo cargado a un conductor aislado.

Por ejemplo, la atracción de pequeños papeles por una regla de plástico frotada se debe a que la regla adquiere cargas negativas en la zona frotada, por transferencia, y estas reordenan las cargas de los papeles, según la regla de los signos (cargas opuestas se atraen y las iguales se repelen). De esta manera ocurre un desequilibrio de cargas en el papel, dejando las cargas negativas del papel orientadas de forma opuesta a la zona frotada de la regla (reordenamiento del dipolo); es decir, las cargas negativas quedan un poco más lejos que las positivas de las cargas negativas de la zona frotada de la regla. Esta pequeña distancia debida al reordenamiento del dipolo produce una fuerza neta (diferencia entre la fuerza de atracción y repulsión entre las cargas). Por tanto, como las cargas positivas del papel quedan más cerca de las cargas negativas de la regla, la fuerza de atracción será mayor que la de repulsión (y mayor que el peso de los papeles), produciéndose el levantamiento de los papeles.

Así, este trabajo consistió en diseñar, implementar y analizar las respuestas de una secuencia de enseñanza-aprendizaje (SEA) sobre electrostática para estudiantes de quinto año básico del sistema escolar chileno.

2. Método

Este trabajo se enmarca en un proyecto DICYT-USACH de acompañamiento docente a profesores de ciencia en establecimientos educativos. La SEA a la que hace referencia este artículo es el resultado del trabajo con una docente de enseñanza básica que imparte clases de ciencia en un establecimiento educacional público de Santiago de Chile. El rol del investigador fue llevar a cabo el acompañamiento de la docente a cargo del curso y ejercer co-docencia durante las clases de la SEA, principalmente ayudando a aclarar dudas de los estudiantes y monitoreando su trabajo. Es importante señalar que el investigador no conocía ni tuvo mayor

relación que la explicitada con el curso participante y que las clases fueron completamente lideradas por la profesora a cargo.

Además de los antecedentes teóricos mencionados en la sección anterior, para la construcción de la SEA se consideraron los 3 principios del Diseño Universal del Aprendizaje y el trabajo de diversos autores especializados en las particularidades de la enseñanza de la electrostática (Guisasola, 2014; Guisasola et al., 2008; Guruswamy et al., 1997) y en la enseñanza de este tema utilizando combinaciones entre representaciones abstractas y del fenómeno real (Petridou et al., 2009; Taramopoulou & Psillos, 2017)

La SEA, compuesta por 3 clases, fue implementada por la docente y el investigador, en modalidad de co-docencia. Los participantes fueron 43 estudiantes de quinto básico (10 años) de un establecimiento educacional público ubicado en una comuna urbana de la Región metropolitana. El establecimiento atiende a estudiantes de educación parvularia, enseñanza básica y enseñanza media, y posee un Índice de vulnerabilidad del 41%. Los 43 estudiantes participantes se dividen en 29 hombres y 14 mujeres. Durante la implementación de la SEA, los estudiantes plasmaron sus respuestas (dibujos y textos) en dossiers de papel que luego fueron escaneados para analizar cada respuesta y su evolución. Las respuestas fueron recolectadas en 8 instancias a lo largo de la SEA, obteniéndose un total de 323 respuestas que fueron posteriormente analizadas de manera cualitativa en el software Atlas.ti, siguiendo un enfoque bottom-up y una técnica de comparación por contraste. Luego de cada clase, el equipo docente-investigador se reunió a discutir la ejecución de la clase tomando en cuenta no solo sus percepciones, sino también las respuestas escritas por los estudiantes en los dossiers.

Descripción de la SEA utilizada como Plataforma de este Trabajo

La secuencia está compuesta por tres clases de noventa minutos y sigue una estructura de predicción, observación, explicación, formalización, y aplicación - basada en el enfoque de la modelización (Garrido & Couso, 2017). Esta estructura debería fomentar un mayor interés situacional según lo reportado por Lavonen et al. (2021), quienes encontraron que dicho interés es mayor cuando los estudiantes trabajan explicando fenómenos. Por lo tanto, se espera que favorezca el desarrollo de la habilidad de “formular explicaciones razonables y conclusiones a partir de la comparación entre los resultados obtenidos y sus predicciones” (MINEDUC, 2018, p.100), requerida por el Ministerio de Educación de Chile para este nivel.

La aplicación de los 3 principios del DUA se llevó a cabo de la siguiente manera:

Principio 1 Múltiples formas de representación: Para contextualizar las clases se utilizaron montajes reales, simuladores virtuales e imágenes.

Principio 2 Múltiples formas de expresión: Las clases consideraron instancias en que los estudiantes debían responder de forma oral, mediante explicaciones escritas y también utilizando dibujos. Los dossiers de trabajo analizados contienen estos dos últimos tipos de respuestas.

Principio 3 Múltiples formas de implicación: La SEA incluyó diversas estrategias para mantener la atención y motivación de los estudiantes, como trabajos en modalidad grupal e individual, interacción física con objetos del montaje y uso de TICS.

La Tabla 1 presenta el detalle de las clases que integraron la SEA. Por cada clase se indica la pregunta que se busca responder, un resumen de la actividad de experimentación llevada a cabo en la clase, los recursos necesarios y el objetivo de la clase.

Tabla 1

Descripción de la SEA implementada

Clase	Descripción de la exploración	Recursos	Objetivo de la clase
1 ¿Cómo podemos dar la capacidad de atracción a un objeto?	El alumnado experimenta frotando diferentes cuerpos aislantes (dieléctricos) y los utiliza para atraer pequeños papeles. Cada grupo de trabajo, mediados por la profesora, categoriza los materiales por su	Diferentes cuerpos: lana, trozo de plástico, pequeños papeles	Explicar los métodos de electrización de fricción y polarización, considerando las características del material, el

	capacidad de atracción y elabora una explicación basada en el reordenamiento de cargas y la transferencia de electrones de un cuerpo a otro. Luego, tras la discusión con la profesora (puesta en común de ideas y búsqueda de consensos), aplican sus conocimientos en una situación cotidiana como la transferencia de carga entre dos personas.		tipo y cantidad de carga eléctrica que adquieren.
2 ¿Cómo muevo una lata utilizando un globo sin que ambos se toquen?	El alumnado experimenta con un cuerpo cargado y una lata de aluminio, observando el movimiento de la lata sobre una mesa. Para guiar la indagación los estudiantes responden: ¿qué ocurre?, ¿por qué ocurre? ¿qué cambiamos en el sistema? Además, para sostener las discusiones con la profesora, y pensar sobre cargas eléctricas, se utilizan dos simuladores: uno para reconocer el movimiento de las cargas eléctricas en conductores debido a la inducción (The Physics Classroom, s.f.-a) y otro directamente relacionado con el fenómeno observado (The Physics Classroom, s.f.-b). De esta manera se contrastan las respuestas iniciales e intermedias, que surgen de la experimentación, y se genera una conclusión.	Cuerpo cargado (globo o trozo de plástico en caso de estudiantes que tengan fobia a los globos) Lata de aluminio Simuladores	Explicar la interacción entre un objeto dieléctrico cargado (ya sea positiva o negativamente) y un conductor neutro, relacionándolos con el desequilibrio entre las fuerzas de atracción y repulsión.
3 Interacción a distancia: ¿Atracción o Repulsión?	El alumnado experimenta con dos péndulos con diferente material (conductor y dieléctrico) y un generador de Van de Graaff (VDG). Primero los estudiantes elaboran sus predicciones sobre qué ocurrirá en cada caso. Posteriormente, se observa el fenómeno y se discuten resultados de la experiencia con la profesora. De esta manera los estudiantes mejoran sus explicaciones y concluyen.	Generador de Van de Graaff (VDG) Péndulo con esfera conductora (plumavit forrada con papel aluminio) Péndulo con esfera dieléctrica (plumavit)	Explicar los métodos de electrización de inducción y polarización, considerando las características del material y el desequilibrio entre las fuerzas de atracción y repulsión.

La SEA propuesta constituye una innovación didáctica porque integra actividades experimentales accesibles y significativas para los estudiantes, promueve la expresión de ideas mediante múltiples representaciones (verbales, escritas y gráficas), facilita el seguimiento del progreso conceptual a lo largo de la secuencia y potencia la evaluación formativa y retroalimentación como parte del proceso de enseñanza-aprendizaje.

Recolección de Datos

La Tabla 2 presenta el detalle de las actividades de la SEA donde se recogieron los datos para ser analizados con respecto al modelo M-DIC.

Tabla 2

Actividades de la SEA donde se recolectaron los datos

N	Actividad para la recolección de datos	Mecanismo de electrización involucrado en el fenómeno de la actividad	Clase de la SEA
1	Interacción a distancia entre un trozo de plástico, cargado por fricción, con pequeños papeles neutros.	Fricción (primera explicación)	Clase 1
2	Transferencia de carga eléctrica entre dos personas, previamente cargadas, al momento de tocarse.	Fricción (explicación mejorada tras la discusión con la profesora)	
3		Fricción (explicación tras un cambio de contexto)	
4	Interacción a distancia entre un globo/trozo de plástico cargado con una lata de bebida neutra.	Inducción (primera explicación)	Clase 2
5		Inducción (explicación mejorada tras la discusión con la profesora)	
6		Inducción (segunda explicación mejorada tras una nueva discusión con la profesora)	
7	Interacción a distancia entre un generador de Van de Graaff cargado y un péndulo. Primero con una esfera conductora y luego con una dieléctrica, ambas neutras.	Polarización (primera explicación)	Clase 3
8		Polarización (explicación mejorada tras la discusión con la profesora)	

Nota: Las actividades 1-2-3 corresponden a la clase 1; 4-5-6 a la clase 2; 7-8 a la clase 3

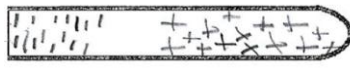
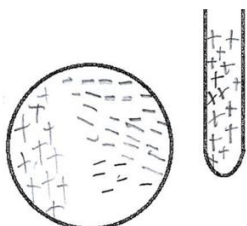
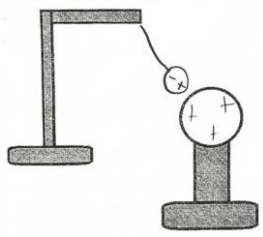
Análisis de Datos

Las respuestas de los estudiantes fueron analizadas en base a su contenido, siendo categorizadas en distintos niveles de adecuación al modelo. La codificación fue realizada en su totalidad por el investigador a cargo. Para reducir posibles sesgos, se utilizaron dos estrategias. La primera fue la codificación ciega, es decir, el investigador no cuenta con información que le permita individualizar a los estudiantes a la hora de analizar sus respuestas ni con información contextual adicional a los escrito en los dossiers. La segunda es la definición clara de categorías. Para ello, planteamos tres categorías inspiradas en el trabajo de Garrido et al. (2019): Nivel 1: Explicaciones donde se confunden los conceptos de carga, transferencia y reordenamiento y/o descripciones. Nivel 2: Explicaciones con elementos inconsistentes. Nivel 3: Explicaciones consistentes con el modelo.

La Tabla 3 presenta ejemplos de respuestas que fueron categorizadas en cada nivel.

Tabla 3

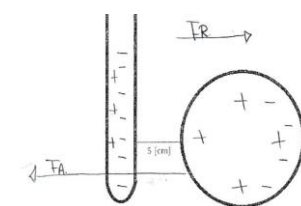
Categorización y ejemplos de respuestas

Categorización para fenómenos de Transferencia de Cargas		
Categoría	¿Qué se entiende por cada nivel?	Ejemplo de respuesta
Nivel 1: Confusión entre transferencia y reordenamiento o no explica el mecanismo de carga.	Confunde la transferencia con el reordenamiento, como si el resultado de la electrización por fricción fuera una polarización o una inducción o encapsula su respuesta en un concepto.	 “Se cargan al frotarse”
Nivel 2: Explicaciones con elementos inconsistentes.	Hay una explicación sobre la electrización por fricción por medio de la transferencia de carga, quedando ambos cuerpos en exceso de cargas opuestas, pero no incluye la noción de que los dieléctricos frotados se cargan en la zona frotada.	“...frotamos el paño y le pasa electrones (a la regla) y queda negativo, y el paño positivo”
Nivel 3: Explicaciones consistentes con el modelo.	Hay una explicación sobre la electrización por fricción por medio de la transferencia de carga, quedando ambos cuerpos en exceso de cargas opuestas. Además, se incluye la idea de que los dieléctricos frotados se cargan en la zona frotada.	“Después de frotar, el paño le paso la carga negativa (a la regla), entonces, la regla queda con más carga negativa por ese lado”
Categorización para fenómenos de Reordenamiento de Cargas		
Categoría	¿Qué se entiende por cada nivel?	Ejemplo de respuesta
Nivel 1: Confusión entre transferencia y reordenamiento o entre cargas y materiales	Confunde el reordenamiento con la transferencia de cargas, como si el resultado de esta electrización fuera una fricción o contacto.	A) “se repelen por ser conductor” “se aleja la pelota porque es conductor” “las cargas negativas se pasan cuando se mueve (la lata)...” (traspaso a distancia) B) “la pelota se acercó y las cargas negativas se transfirieron” “no se moverá porque es aislante”
Nivel 2: Explicaciones con elementos inconsistentes	Hay una explicación sobre la electrización por inducción y por polarización a través del reordenamiento de carga del cuerpo neutro (dieléctrico o conductor aislado), debido a una carga externa. Además, incluyen la idea de movimiento de cargas positivas o el reordenamiento es al contrario de la carga externa.	A)  (en el dibujo se ven una inducción desplazando carga postivia) B)  (en el dibujo se ven una polarización al contrario de la carga externa)

Nivel 3: Explicaciones consistentes con el modelo

Hay una explicación sobre la electrización por inducción y por polarización por medio del reordenamiento de cargas, debido a una carga externa. Además, se incluyen las ideas de atracción y repulsión como resultado de este reordenamiento, considerando las características del material.

A)



B) “Está compuesto por dipolos y se ordenaran de manera que se atraigan”

3. Resultados

La implementación de la SEA tuvo una alta participación por parte de los estudiantes, consiguiendo 323 respuestas en total (solo hubo 21 no trazables), lo que permitió observar las ideas de los estudiantes en distintos momentos del proceso y su evolución tras las distintas actividades implementadas.

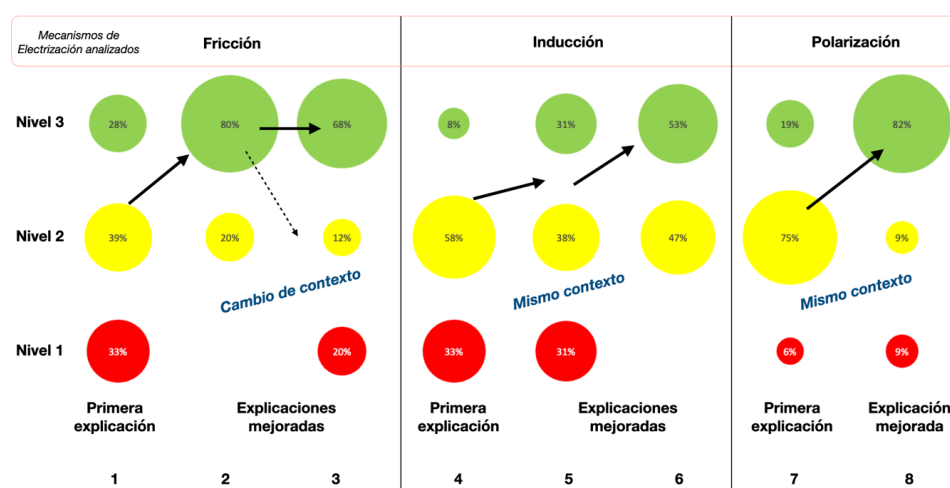
A continuación, se presenta el resultado del análisis de las respuestas registradas por los estudiantes en sus guías de trabajo durante la SEA.

La Figura 1 ilustra la evolución de las ideas de los estudiantes a lo largo de las clases implementadas. El eje horizontal corresponde a las 8 actividades de la SEA en que se recolectaron respuestas de los estudiantes en orden cronológico. Este eje además explicita qué mecanismo de electrización se trabajó en cada momento.

El eje vertical representa los tres niveles de adecuación al modelo, ya explicados en la sección anterior. Los tamaños de los círculos corresponden al porcentaje de respuestas asociadas a cada nivel, permitiendo visualizar la evolución de las ideas del grupo de estudiantes. Por lo tanto, a mayor tamaño del círculo, mayor es el porcentaje de respuestas que se ubican en un nivel. La representación gráfica utilizada corresponde al diseño de gráfico de burbujas del software Microsoft Excel.

Figura 1

Evolución de las ideas de los estudiantes con respecto al nivel de adecuación al M-DIC



Como se observa en el gráfico, al inicio de la primera clase (actividad 1), las respuestas de los estudiantes se distribuyeron de manera homogénea entre los tres niveles de adecuación. Posteriormente, tras la intervención docente (actividad 2), se evidenció una mejora significativa en el desempeño: el 80% de los estudiantes alcanzó el nivel de respuesta esperado (nivel 3), mientras que el 20% restante logró ubicarse en el nivel medio (nivel 2). Es relevante señalar que, en esta etapa, no se registraron respuestas clasificadas en el nivel más bajo de

desempeño (nivel 1). Con respecto a la última actividad de la primera clase (actividad 3), existen un cambio de contexto, es decir, pasamos de trabajar en base a la atracción de papeles a una fricción y descarga entre dos personas. Con ello, un 68% de los estudiantes mostraron un nivel de desempeño más alto (nivel 3), un 12% alcanzó el nivel 2 y un 20% quedó en el nivel 1.

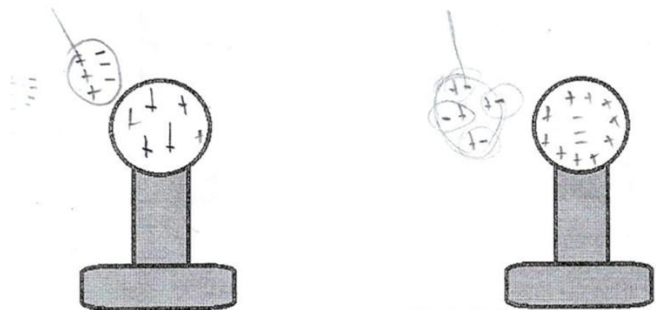
Durante la segunda clase, enfocada en la inducción, encontramos que en su primera actividad (actividad 4) las respuestas de los estudiantes en su mayoría se concentraron en los niveles 1 y 2, y únicamente un 8% evidenció elementos para ser clasificado en el nivel óptimo. En la siguiente actividad de recolección de datos (actividad 5), que ocurrió tras la primera discusión con la profesora, se observó una distribución más equitativa de las respuestas entre los tres niveles de desempeño. Finalmente, luego de la segunda discusión con la profesora y de involucrar el uso de simuladores, se observa que un 53% de las respuestas corresponden al nivel 3 y un 47% al nivel 2, mientras que las respuestas en el nivel 1 desaparecen.

Finalmente, en la tercera clase, centrada en el estudio de la polarización, la mayoría de las respuestas iniciales (actividad 7) se situó en el nivel 2 alcanzando un 75%. Sin embargo, al concluir la sesión se observó un avance significativo, con un 82% de las respuestas clasificadas en el nivel óptimo y apenas un 9% en los niveles 2 y 1. La Figura 2 muestra un ejemplo de las respuestas de un estudiante en las actividades 7 y 8.

Se observa entonces que la tendencia en la evolución de las ideas es similar a lo reportado por Garrido et al. (2021), Bozzo et al. (2022) y Solé et al. (2023), quienes también reportaron que las respuestas de los estudiantes mejoran, pero luego vuelven a bajar en determinados momentos. Esto es esperable de la trayectoria de las ideas de los estudiantes en una progresión de aprendizaje.

Figura 2

Evolución de la respuesta de un estudiante sobre la polarización de un dieléctrico neutro (actividades 7 y 8) debido a una carga externa. Pasa del nivel 2 al nivel 3.



4. Discusión

El investigador y la docente participante del acompañamiento del que emana este trabajo se reunieron tras cada clase para analizar la ejecución de la clase y las respuestas de los estudiantes, para así proponer retroalimentación oportuna a los estudiantes.

Se presentan a continuación las posibles interpretaciones ante ciertos resultados obtenidos y las modificaciones a la SEA realizadas tras dicho análisis.

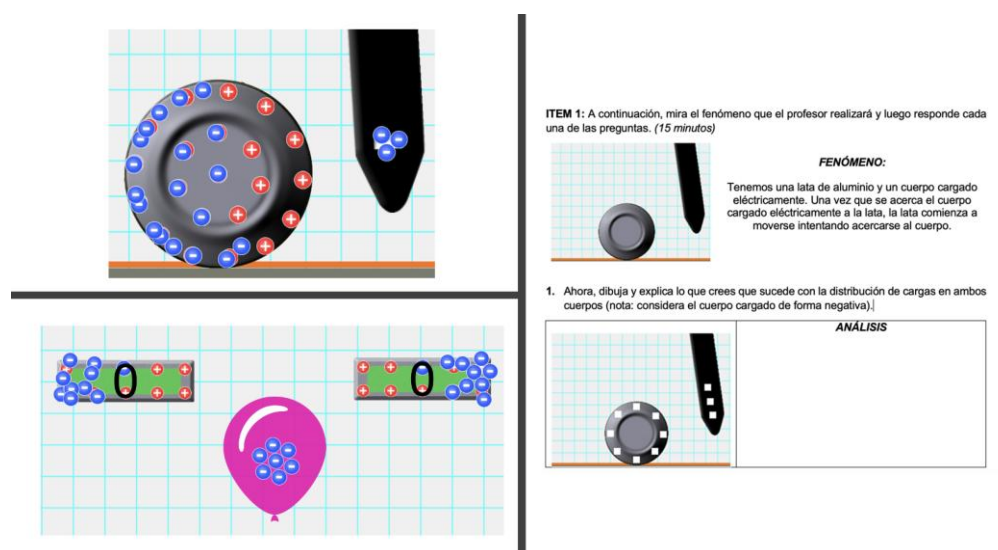
Reflexión y proceso de refinamiento colaborativo de la SEA

Uno de los aspectos que llamó la atención del equipo fue que en la clase 1, si bien las respuestas de los estudiantes claramente mejoran después de la discusión con la profesora, al final de la clase 1 aún existe un 20% de estudiantes que quedan en el nivel 1. Considerando que la actividad inicial de la clase y la final requerían aplicar el mismo concepto para explicar situaciones diferentes, creemos que este 20% podría deberse a la dificultad que representa transferir conocimientos y habilidades aprendidas recientemente de un contexto a otro. Dado esto, se pensó que en futuras implementaciones estas actividades podrían trabajarse por medio

de una experimentación que permita cargar un conductor y un aislante (dieléctrico) con un generador Van de Graaff y hacer pequeñas descargas para simular la que se da entre personas. De esta manera, se podría estrechar la distancia entre las experiencias de la atracción de papeles y esta situación cotidiana, y por tanto, también trabajar el mecanismo del contacto que inicialmente no estuvo presente en el diseño. Otro elemento observado en la clase 1 fue que los estudiantes tienden a escribir respuestas demasiado breves y concisas. Por este motivo, se decidió solicitar más dibujos en las guías y asignar un espacio donde los estudiantes pudieran acompañar el dibujo con una explicación de lo que dibujan, como se muestra en la Figura 3. Es importante destacar que, en estos dibujos, las guías de trabajo ya incluían las siluetas de los objetos y los estudiantes solo debían dibujar las cargas. Esto con la intención de que los estudiantes pensaran en cargas para comprender la fuerza eléctrica, es decir, en que el desequilibrio de cargas produce una fuerza neta que permite la atracción o repulsión de objetos.

Figura 3

A la izquierda el ambiente de trabajo en los simuladores y a la derecha el dossier de trabajo de los estudiantes en la clase 2 en la actividad 4



La clase 2, comienza con las predicciones de los estudiantes sobre la atracción de una lata (material conductor) por un objeto cargado. Las respuestas se concentran en torno a la idea de que los cuerpos con carga contraria se atraen, evidenciando que suponen que la lata ya viene cargada desde antes de comenzar la experiencia. Tras la primera discusión con la profesora ya se ven respuestas de nivel 3, esto debido a que se les recuerda que los papelitos también estaban neutros y fueron atraídos (elementos de la clase 1). Luego, al involucrar el simulador y explicitar que no existe transferencia de cargas con la lata, los estudiantes formulan sus respuestas pensando en el reordenamiento de cargas de un conductor (diferente a lo que le sucede a un dieléctrico) y que para mover algo es necesaria una fuerza (conocimientos del curso escolar anterior). Consideramos que el conjunto de estos elementos explica que las respuestas se consoliden en el nivel 3. En esta clase también se evidenció una mayor participación de parte de los estudiantes y una tendencia a escribir respuestas más detalladas, explicaciones en vez de simples descripciones. Esto podría deberse a la adaptación gradual de los estudiantes a la metodología de trabajo planteada por la SEA, ya que la retroalimentación entregada en las clases anteriores les permitiría reconocer qué tipo de respuestas son las esperadas en términos de profundidad.

Finalmente, en la clase 3, hubo dos hipótesis erradas que predominaron entre las predicciones iniciales de los estudiantes. La primera fue que los cuerpos se repelerían por ser del mismo material, cuando la noción correcta es que los cuerpos de cargas iguales se repelen. Es probable que los estudiantes hayan confundido las nociones de carga y material. De esta forma, cuando la esfera conductora se carga por inducción con el generador los estudiantes respondieron que ambos cuerpos se repelerían. La segunda hipótesis errada fue que no es posible cargar la esfera de material dieléctrico. A pesar de estas ideas iniciales, los estudiantes rápidamente re aprendieron las ideas del modelo. Primero, que existe el reordenamiento de las cargas de la esfera conductora (inducción de las cargas de la lata trabajada en la clase 2), segundo, que también existe el reordenamiento de las cargas de un dieléctrico (polarización de

las cargas de los papелitos trabajada en la clase 1), y tercero, que en ambos casos se puede dar (si el peso de los cuerpos lo permite) una atracción por el desequilibrio de las cargas. Creemos que esta evolución se debe a que pudieron observar el experimento y a que la profesora facilitó la conexión de este fenómeno con lo estudiado en clases anteriores.

5. Conclusión

Los resultados obtenidos a lo largo de la SEA propuesta permiten evidenciar la eficacia del enfoque pedagógico adoptado. En general, se observó una tendencia positiva en la evolución del desempeño estudiantil, especialmente luego de las instancias de intervención docente, tal como han reportado estudios de naturaleza similar Garrido et al. (2021), Bozzo et al. (2022) y Solé et al. (2023). Dado el doble rol del investigador, existe el riesgo de sesgos en el análisis. Sin embargo, al observar la similitud con las investigaciones recién mencionadas, creemos que las estrategias implementadas fueron efectivas para reducir dicho impacto y asegurar la confiabilidad de los resultados. La metodología implementada permite determinar en qué grado de comprensión de los fenómenos se encuentran los estudiantes, lo que facilita la retroalimentación y el trabajo remedial.

La aplicación de los principios del DUA, particularmente de los principios 1 y 2, resultó beneficiosa para ayudar a desarrollar la habilidad científica requerida a este nivel. El uso de distintos medios de representación (principio 1) como simuladores virtuales permitió que los estudiantes observaran fenómenos abstractos, como el movimiento de cargas, que sería imposible ver de otra manera. Por otro lado, la presencia de distintos medios de expresión (principio 2) en las guías de trabajo (dibujos y texto) permitió acceder a los modelos mentales de los estudiantes de manera más profunda y así conocer su nivel real de comprensión de los contenidos. Por ejemplo, si los estudiantes no elaboraban la definición precisa requerida, mediante el dibujo se podía evidenciar si comprendían el fenómeno a cabalidad, pero habían redactado una respuesta poco detallada, o si aún no alcanzaban el nivel óptimo de comprensión del fenómeno. Esta investigación se enfocó en los resultados de aprendizaje de los estudiantes, no en su grado de motivación hacia las actividades, por lo tanto no es posible determinar si los distintos medios de implicación incluidos (principio 3) generaron algún impacto en el interés del estudiantado. Se decidió excluir el análisis de este criterio debido a la escasez de tiempo que no permitió contar con un instrumento validado para medir la motivación de los estudiantes. Sin embargo, la gran cantidad de respuestas recolectadas a lo largo de la SEA (cercano al total) podría sugerir que hubo un interés por participar de las clases propuestas.

No obstante, los datos también revelan ciertos momentos de retroceso o estancamiento, los cuales fueron objeto de análisis conjunto y dieron lugar a ajustes pedagógicos. En particular, la identificación de factores como la brevedad de las respuestas estudiantiles y la exigencia de cambios de contextos no mediados, permitió al equipo implementar mejoras que se reflejaron en un desempeño más sólido en clases posteriores. En este sentido, el trabajo colaborativo entre la docente y el investigador en el diseño y ajuste de la SEA fue fundamental para implementar adecuaciones pertinentes.

Asimismo, el progresivo ajuste de los estudiantes a la metodología propuesta — incluyendo un mayor nivel de participación y una mejora en la calidad de sus explicaciones — sugiere que el proceso de retroalimentación continua incidió favorablemente en su aprendizaje. En síntesis, la innovación propuesta para la enseñanza de la electrostática a estudiantes de quinto básico del sistema escolar chileno resultó exitosa para la gran mayoría de los estudiantes. Consideramos que la comprensión de las ideas que subyacen al modelo de distribución e interacción entre cargas eléctricas contribuirá a preparar el camino para la presentación de los contenidos enfocados en los circuitos eléctricos que proponen las bases curriculares chilenas para este grado del currículum nacional.

Para finalizar, concluimos que es posible elaborar propuestas exitosas de modelización dirigidas a estudiantes de enseñanza básica que abarquen a la diversidad de estudiantes presentes en las aulas chilenas. Tenemos la convicción de que las niñas y los niños son capaces de adaptarse a metodologías como la presentada y de comprender nociones sobre la electrostática que les permitirán abordar en un futuro fenómenos más complejos como los circuitos eléctricos. Por lo tanto, consideramos relevante avanzar en la investigación sobre prácticas científicas como la modelización para trabajar con niños de enseñanza básica buscando alcanzar a la diversidad de los estudiantes. Somos conscientes de que, tal como plantea Schwarz (2022), el desarrollo de dicha investigación tiene un costo que se traduce en tiempo, trabajo docente y otros desafíos logísticos. Sin embargo, a la luz de los resultados

favorables en términos de aprendizaje de esta investigación, creemos que dicho esfuerzo vale la pena.

Agradecimientos

A la Vicerrectoría de Investigación, Innovación y Creación de la Universidad de Santiago de Chile. Proyecto de investigación DICYT N° 032331GS.

Referencias

- Acher, A., Arcà, M., & Sanmartí, N. (2007). Modeling as a teaching learning process for understanding materials: A case study in primary education. *Science Education*, 91(3), 398–418. <https://doi.org/10.1002/sce.20196>
- Adúriz-Bravo, A. (2020). Contributions to the nature of science: Scientific investigation as inquiry, modeling, and argumentation. En M. Benarroch & M. N. Gutiérrez (Eds.), *Science education research in Latin America* (Cap. 17). Brill. https://doi.org/10.1163/9789004409088_017
- Adúriz-Bravo, A., & Izquierdo-Aymerich, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 4(3), 40–49. <https://www.re-dalyc.org/pdf/2733/273320452005.pdf>
- Baek, H., Schwarz, C., Chen, J., Hokayem, H., & Zhan, L. (2011). Engaging elementary students in scientific modeling: The MoDeLS fifth-grade approach and findings. En M. Khine & I. Saleh (Eds.), *Models and modeling* (pp. 195–220). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0449-7_9
- Barrón, A. R., & Ramírez, M. H. (2021). Diseño universal de aprendizaje en la enseñanza de la Física. *Información tecnológica*, 32(6), 73–84. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642021000600073>
- Barrón-Hernández, A. R., & Ramírez-Díaz, M. H. (2023). Diseño universal de aprendizaje en la enseñanza de la física: una propuesta de aplicación. *Revista Científica*, 47(2), 69–84. <https://doi.org/10.14483/23448350.20105>
- Benseghir, A., & Closset, J. (1996). The electrostatics–electrokinetics transition: Historical and educational difficulties. *International Journal of Science Education*, 18(2), 179–191. <https://doi.org/10.1080/0950069960180204>
- Bozzo, G., Lopez, V., Couso, D., & Monti, F. (2022). Combining real and virtual activities about electrostatic interactions in primary school. *International Journal of Science Education*, 44(18), 2704–2723. <https://doi.org/10.1080/09500693.2022.2149284>
- Cheung, K. K. C., Oancea, A., & Erduran, S. (2025). Students' meaning-making of nature of science: Interaction between visual, verbal, and written modes of representation. *Science Education*, 109(2), 480–505. <https://doi.org/10.1002/sce.21916>
- Domènech-Casal, J. (2017). Aprendizaje basado en proyectos y competencia científica: Experiencias y propuestas para el método de estudios de caso. *Enseñanza de las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, (Extra), 5177–5184. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/337691>
- Echeverri-Jimenez, E., & Balabanoff, M. (2024). Generating construct maps from a systematic review of atomic models. *Journal of Research in Science Teaching*. <https://doi.org/10.1002/tea.22016>
- Evagorou, M., Nicolaou, C., & Lymbouridou, C. (2020). Modelling and argumentation with elementary school students. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 20(1), 58–73. <https://doi.org/10.1007/s42330-020-00076-9>
- Furió, C., Guisasola, J., & Almudí, J. M. (2004). Elementary electrostatic phenomena: Historical hindrances and students' difficulties. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 4(3), 291–313. <https://doi.org/10.1080/14926150409556616>
- Garrido, A., & Couso, D. (2017). La modelización en la formación inicial de maestros: ¿Qué mecanismos o estrategias la promueven? *Enseñanza de las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, (Extra), 137–144. <https://ddd.uab.cat/record/184701>
- Garrido, N., López, V., & Pintó, R. (2019). Analysis of the learning of electrostatic concepts in pre-service physics teachers. *Journal of Physics: Conference Series*, 1287(1), 012034. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1287/1/012034>

- Garrido, N., López-Simó, V., & Pintó, R. (2021). Analysis of the explanations of pre-service physics teachers about the Faraday Cage Effect and the Pointed Conductor Effect. *Journal of Physics: Conference Series*, 1929(1), 012031. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1929/1/012031>
- Guevara, R., & Cisterna, P. (2025). Desarrollar la investigación desde la educación primaria. *Revista de Inclusión Educativa y Diversidad (RIED)*, 3(1). <https://ried.website/nuevo/index.php/ried/article/view/71>
- Guisasola, J., Zubimendi, J. L., Almudi, J. M., & 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. <https://ensciencias.uab.cat/article/view/v26-n2-guisasola-zubimendi-almudi-et-al>
- Guisasola, J. (2014). Teaching and learning electricity: The relations between macroscopic level observations and microscopic level theories. In M. R. Matthews (Ed.), *International handbook of research in history, philosophy and science teaching* (pp. 129–156). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7654-8_5
- Guisasola, J., Ametller, J., & 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. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1801
- Guruswamy, C., Somers, M. D., & Hussey, R. G. (1997). Students' understanding of the transfer of charge between conductors. *Physics Education*, 32(2), 91–96. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/32/2/015>
- Izquierdo-Aymerich, M., & Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological foundations of school science. *Science & Education*, 12, 27–43. <https://doi.org/10.1023/A:1022698205904>
- Kaldaras, L., Akazeze, H., & Krajcik, J. (2021). Developing and validating Next Generation Science Standards-aligned learning progression to track three-dimensional learning of electrical interactions in high school physical science. *Journal of Research in Science Teaching*, 58(4), 589–618. <https://doi.org/10.1002/tea.21672>
- Ke, L., & Schwarz, C. V. (2021). Supporting students' meaningful engagement in scientific modeling through epistemological messages: A case study of contrasting teaching approaches. *Journal of Research in Science Teaching*, 58(3), 335–365. <https://doi.org/10.1002/tea.21667>
- Kirsch, B. A., Bryan, T., & Hoferer, D. (2024). Implementing Universal Design for Learning in the Higher Education Science Classroom. *Journal of College Science Teaching*, 53(2), 135–139. <https://doi.org/10.1080/0047231X.2024.2316939>
- Lavonen, J., Ávalos, B., Upadaya, K., Araneda, S., Juuti, K., Cumsille, P., ... Salmela-Aro, K. (2021). Upper secondary students' situational interest in physics learning in Finland and Chile. *International Journal of Science Education*, 43(16), 2577–2596. <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.1978011>
- Li, J., Luo, H., Zhao, L., Zhu, M., Ma, L., & Liao, X. (2022). Promoting STEAM education in primary school through cooperative teaching: A design-based research study. *Sustainability*, 14(16), 10333. <https://doi.org/10.3390/su141610333>
- López-Cortés, F., Ravanal Moreno, E., Palma Rojas, C., & Merino Rubilar, C. (2021). Representaciones de estudiantes de educación secundaria sobre la división celular mitótica: una experiencia con realidad aumentada [High school student representations of mitotic cell division: an augmented reality experience]. *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*, 62, 7–37. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.84491>
- Méheut, M., & Psillos, D. (2004). Teaching–learning sequences: Aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, 26(5), 515–535. <https://doi.org/10.1080/09500690310001614762>
- Ministerio de Educación de Chile. (2018). *Bases curriculares 1° a 6° básico*. Unidad de Currículum y Evaluación. <https://www.curriculumnacional.cl/docente/629/w3-article-22394.html>
- Pannullo, L., Böttinger, T., & Winkelmann, J. (2025). Inclusive and digital science education—A theoretical framework for lesson planning. *Education Sciences*, 15(2), 148. <https://doi.org/10.3390/educsci15020148>

- Pedrajas, A. P. (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. <https://doi.org/10.13042/Bor-don.2022.93290>
- Petridou, E., Psillos, D., Hatzikraniotis, E., & Viiri, J. (2009). Design and development of a microscopic model for polarization. *Physics Education*, 44(6), 589–595. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/44/6/003>
- Schwarz, C. V., Ke, L., Salgado, M., & Manz, E. (2022). Beyond assessing knowledge about models and modeling: Moving toward expansive, meaningful, and equitable modeling practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 59(6), 1086–1096. <https://doi.org/10.1002/tea.21770>
- Solé, C., Couso, D., & Hernández, M. I. (2023). Revisiting secondary students' ideas about air pollution: The challenge of particulate matter. *Chemistry Education Research and Practice*, 24(1), 132–142. <https://doi.org/10.1039/D2RP00117A>
- Taramopoulos, A., & Psillos, D. (2017). Complex phenomena understanding in electricity through dynamically linked concrete and abstract representations. *Journal of Computer Assisted Learning*, 33(2), 151–163. <https://doi.org/10.1111/jcal.12174>
- The Physics Classroom. (s.f.-a). *Charging interactive*. Recuperado de <https://www.physicsclassroom.com/Physics-Interactives/Static-Electricity/Charging/Charging-Interactive>
- The Physics Classroom. (s.f.-b). *Aluminum can polarization interactive*. Recuperado de <https://www.physicsclassroom.com/Physics-Interactives/Static-Electricity/Aluminum-Can-Polarization/Aluminum-Can-Polarization-Interactive>
- Viennot, L. (2001). *Reasoning in physics: The part of common sense*. Springer. <https://doi.org/10.1007/0-306-47636-3>
- Viennot, L. (2003). *Teaching physics*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-010-0121-2>