

Procesos de modelización científica en la formación del profesorado de educación inicial: El caso de la electrostática

María Laura Orlandini^{1,2}, Eduardo Lozano² y Agustín Adúriz-Bravo³

¹Universidad Nacional del Comahue (Argentina). ²Universidad Nacional de Río Negro (Argentina). ³Universidad de Buenos Aires (Argentina). E-mail: mariaorlandini85@gmail.com

Resumen: En el marco de una tesis doctoral se diseñó, implementó y evaluó una unidad didáctica dirigida a integrar la formación disciplinar, metacientífica y didáctica del profesorado de educación inicial. Uno de los objetivos de la investigación fue analizar los procesos de modelización de fenómenos electrostáticos llevados a cabo por las y los estudiantes, en virtud de su capacidad para transformar hechos del mundo en "hechos científicos escolares" seleccionados por su valor educativo. Se presentan los fundamentos teóricos y los resultados correspondientes a la modelización inicial, intermedia y a las etapas de estructuración y aplicación del modelo. La investigación adoptó un enfoque metodológico cualitativo y los datos surgieron de una intervención en el contexto natural de las clases de la asignatura Ciencias Naturales y su Didáctica. Como unidades de análisis se consideraron: producciones gráficas y escritas, y discusiones grupales. El análisis de los datos, realizado mediante un proceso de recursividad inductivo-teórica, permite inferir que los modelos iniciales fueron reelaborados y complejizados progresivamente, dando lugar a una reconstrucción teórica consistente con el modelo científico escolar de arribo. Este trabajo es un aporte a la introducción de la enseñanza basada en la modelización en la formación del profesorado de educación inicial (o infantil).

Palabras clave: unidad didáctica, procesos de modelización, modelo científico escolar, fenómenos electrostáticos, profesorado de educación inicial.

Title: Scientific modeling processes in early childhood teacher education: The case of electrostatics

Abstract: Within the framework of a doctoral dissertation, a teaching unit was designed, implemented, and evaluated with the aim of integrating disciplinary, metascientific, and didactic components in early childhood teacher education. One of the research objectives was to analyze the modeling processes of electrostatic phenomena carried out by the students, particularly in terms of their capacity to transform events in the world into "school scientific facts" selected for their educational value. The theoretical foundations and results corresponding to the initial and intermediate modeling stages, as well as to the structuring and application stages of the model, are presented. The research adopted a qualitative methodological approach, and the data emerged from an intervention conducted in the

natural classroom context of the course Natural Sciences and Science Teaching. The units of analysis comprised graphic and written productions and group discussions. Data analysis, conducted through a process of inductive-theoretical recursivity, allowed us to infer that the initial models were progressively reworked and made more complex, giving rise to a theoretical reconstruction consistent with the target school scientific model. This work contributes to the introduction of modeling-based teaching in early childhood teacher education.

Keywords: teaching unit, modeling processes, school scientific model, electrostatic phenomena, early childhood teacher education.

Introducción

En la actual formación del profesorado de educación inicial o infantil (EI), la enseñanza de los contenidos disciplinares, metacientíficos y didácticos se desarrolla en espacios independientes y con escaso diálogo entre sí. Un campo de formación integrado que permitiera modelizar fenómenos de la realidad e incorporar, a la vez, ideas actualizadas sobre la propia ciencia daría lugar a que las y los estudiantes transiten una formación más articulada, consistente y significativa. Este trabajo se ubica en una línea de investigación basada en el diseño, implementación y evaluación de unidades didácticas (UD) que integran la construcción de un modelo disciplinar y la elaboración de ideas claves metacientíficas (Adúriz-Bravo, 2005) a través de procesos de modelización, junto con la reflexión didáctica sobre este recorrido (Figura 1). Este tipo de unidades de integración podrían funcionar a modo de corredores conceptuales validados al ser implementados en diferentes contextos educativos, dando lugar al desarrollo de innovaciones en la enseñanza de las ciencias (Rinaudo y Donolo, 2010).

La perspectiva teórica que sostiene el diseño de la UD es el llamado modelo cognitivo de ciencia escolar (MCCE) (Izquierdo, et al., 1999), que hibrida una vertiente epistemológica, la concepción semántica de las teorías científicas (Giere, 1988), con una vertiente axiológica de la filosofía de la ciencia (Echeverría, 1998). Las ideas centrales de este modelo se concretan para la enseñanza a partir del diseño de actividades científicas escolares (ACE). Otra perspectiva que se integra es la "naturaleza de la ciencia" (NOS) entendida como el conjunto de ideas metacientíficas que tienen valor para la enseñanza de las ciencias naturales (Adúriz-Bravo, 2005). Por último, el diseño de esta UD contempla la inclusión de instancias de reflexión sobre el itinerario recorrido; tales actividades promueven que las y los docentes en formación analicen las decisiones tomadas en el diseño de la UD, los modelos empleados y los modos de averiguar y representar desde la perspectiva de la ACE. Esta autorreflexión permite, a su vez, que elaboren ideas sobre la enseñanza como práctica epistémica situada, reconociendo tanto sus fundamentos como sus implicancias educativas.

En la investigación que aquí se reporta, la UD diseñada integra la modelización de fenómenos que implican propiedades eléctricas de los materiales, el desarrollo de ideas metacientíficas sobre la naturaleza de los modelos científicos y la reflexión didáctica sobre la actividad científica escolar llevada adelante (Figura 1).

Este artículo tiene como objetivo analizar los procesos de modelización disciplinar desarrollados por las y los estudiantes de la carrera de Profesorado de Educación Inicial durante la implementación de la UD. En particular, se analizan los modelos iniciales de los participantes, su evolución a lo largo del proceso de modelización, el grado de aproximación alcanzado respecto del modelo científico escolar construido ("de arriba") y su aplicación a un nuevo contexto de problematización.

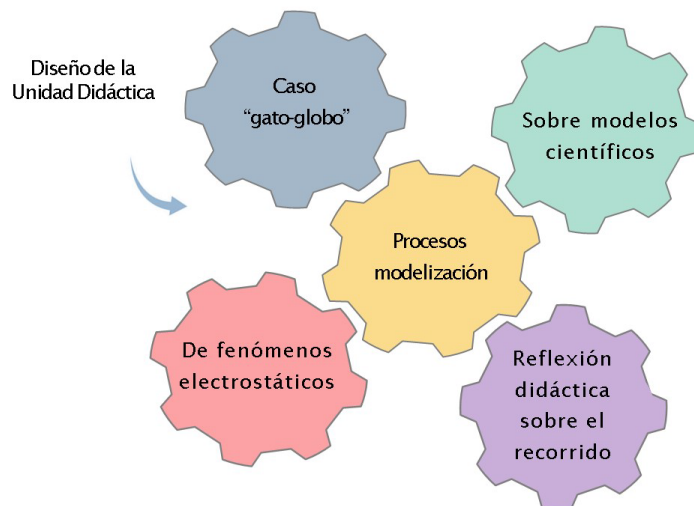


Figura 1. Plano general de componentes de la UD diseñada para la asignatura Ciencias Naturales y su Didáctica, en la carrera de Profesorado en Educación Inicial. Se muestran los "engranajes" para la integración de los campos de formación disciplinar, metacientífica y didáctica (adaptado de Lozano et al., 2018).

Marco teórico

Modelos en la actividad científica

Los modelos ocupan un lugar central en la actividad científica, tanto como herramientas cognitivas para el razonamiento como en tanto medios de representación del mundo. Desde la psicología cognitiva, Nersessian (1999, 2002) los concibe como representaciones estructuradas que median entre la teoría y la realidad, y que operan como lentes cognitivas a través de las cuales las y los científicos piensan y comprenden fenómenos. Desde una perspectiva más epistemológica, Giere (1988) plantea que los modelos funcionan como representaciones que mantienen ciertas similitudes con los aspectos del mundo que modelizan, actuando como mapas para explicarlo (Figura 2). Estas representaciones teóricas de la realidad pueden asumir múltiples formas concretas —como palabras, ecuaciones, diagramas, gráficos o imágenes— según el propósito epistémico y el contexto de uso (Giere, 2004).

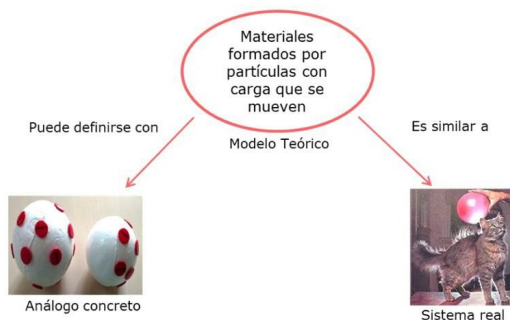


Figura 2. Modelo teórico para el caso desarrollado en la Unidad Didáctica. El sistema real corresponde al fenómeno triboeléctrico implicado entre el pelaje de un gato y un globo frotado. En la parte izquierda, la forma de definirlo corresponde a un análogo concreto de un átomo de Thomson (adaptado de Giere, 1988).

En este marco, las prácticas de modelización poseen un carácter fundamentalmente abductivo, entendiendo la abducción como una forma central de pensamiento mediante la cual es posible subsumir casos no evidentes a modelos explicativos más generales (Adúriz-Bravo, 2015). Esto permite enfrentar situaciones de incertidumbre y generar conocimiento novedoso en contextos reales. En este proceso, las y los científicos elaboran explicaciones proyectando sobre los hechos ciertos “patrones” estilizados teóricamente (Pinillos y Adúriz-Bravo, 2022), es decir, mapas conceptuales que guían la interpretación de la naturaleza.

Reconocer el carácter modelizador, abductivo y evidencial del razonamiento científico permite redefinir el valor de otras prácticas científicas, como la formulación de preguntas, el diseño de experimentos, la recolección de datos y la argumentación basada en evidencia, entendidas ahora como componentes que interaccionan dentro de un proceso investigativo guiado por la construcción y evaluación de modelos (Osborne, 2014).

Modelos y modelización en la actividad científica escolar

Entendemos que esta forma de trabajo modélico-abductiva, que promueve razonamientos ampliativos apoyados en modelos teóricos, resulta valiosa para la ciencia escolar por su objetivo epistémico: que las y los estudiantes se vean capaces de elaborar una explicación para un determinado estado de cosas (Adúriz-Bravo, 2015). En este marco, la externalización de las representaciones adquiere un papel central en la ciencia escolar; las representaciones concretas de un modelo aparecen mediando en la transformación de hechos del mundo en hechos científicos escolares (Gómez Galindo, 2014). Las representaciones de modelos son muchas veces multimodales (Kress et al., 2001): combinan diferentes modos semióticos como textos, imágenes, dibujos, maquetas y diagramas. Cada uno de esos modos ofrece diferentes potenciales de significado en la construcción del modelo. Además, y como sostienen Moreira et al. (2002), las representaciones externas de los modelos son herramientas fundamentales en la investigación educativa, ya que permiten inferir los procesos mentales implicados en el aprendizaje.

De acuerdo con estas ideas, la modelización en la enseñanza de las ciencias (Aduriz-Bravo, 2012; Clement, 2000; Gilbert and Osborne, 1980; Khan, 2011) se entiende como un proceso dinámico que permite pensar, hacer y decir algo sobre el mundo. Durante ese proceso de modelización (Chiu y Lin, 2019), se elaboran modelos iniciales y aproximaciones parciales que se van ajustando a partir de estrategias discursivas. Los modelos construidos son puestos a prueba con el fin de evaluarlos, compararlos y revisarlos, incorporando nuevos aspectos en la tarea explicativa (Gibert and Justi, 2016; Marzábal et al., 2024).

Los modelos científicos escolares (MCE), que recuperan lo más esencial de la relación de similitud que se da entre modelos teóricos eruditos y hechos reconstruidos, proporcionan al profesorado de ciencias en formación buenas representaciones y explicaciones de los fenómenos. Esto permite estimular el pensamiento teórico a partir de desarrollar diferentes modos de averiguar (Adúriz-Bravo, 2015) y de representar (Gómez, 2014), a través de múltiples lenguajes, lo que se está modelizando.

Las actividades científicas escolares (ACE) deben brindar oportunidades para construir modelos e hipótesis explicativas, evaluar su validez, establecer comparaciones y analogías y ordenar la diversidad de evidencia recolectada (Figura 3). En este contexto, la noción de evidencia no se restringe a la observación ni a la experimentación directa, sino que incluye también el razonamiento formal, las analogías, las fuentes documentales, las simulaciones y la opinión experta (Pujalte y Adúriz-Bravo, 2021).



Figura 3. Proceso de modelización disciplinar. Modos de averiguar y representar puestos en juego en la unidad didáctica.

Desde una perspectiva didáctica centrada en la modelización, se han desarrollado diversos trabajos para la enseñanza de fenómenos electrostáticos en distintos niveles educativos, incluyendo el universitario (Russ y Odden, 2017; Garrido, et al., 2019) y el secundario (Campbell y Neilson, 2012; Shen y Linn, 2011; Pereda-García y López-Mota, 2016). Estas propuestas promueven la construcción de modelos que permiten explicar fenómenos como la atracción y repulsión entre objetos cargados —utilizando materiales como varillas de vidrio, seda, piel, globos de látex, lana o cintas adhesivas—, así como procesos de inducción electrostática, mediante experiencias como la construcción y uso de un electroscope

El modelo desarrollado en el trabajo de Campbell y Neilson (2012) aborda la naturaleza eléctrica de la materia desde un nivel atómico,

considerando que la misma está formada por partículas con carga eléctrica positiva —protones— y negativa —electrones—. Desde una aproximación, se atribuye a la menor masa de los electrones la posibilidad de moverse durante los procesos de electrización. En el trabajo de Shen y Linn (2011) los fenómenos electrostáticos son abordados a partir de tres perspectivas: una basada en cargas negativas y positivas, que pueden transferirse entre objetos al frotar materiales; otra basada en partículas, considerando a la carga como una propiedad de las mismas; y una tercera, basada en la energía, que introduce nociones de diferencia de potencial y de campo eléctrico asociado con partículas u objetos cargados.

En estas propuestas, las representaciones, como expresiones concretas de los modelos construidos, son multimodales. Entre los modos usados se destacan los textos, diagramas y símbolos (Campbell y Neilson, 2012; Garrido et al., 2019), los textos con símbolos (Russ y Odden, 2017) y los simuladores (Shen y Linn, 2011). Respecto de la utilización de software, Shen y Linn (2011) destacan que, en temas referentes a electrostática, las visualizaciones informáticas permiten representar estos fenómenos ofreciendo una forma de comprender los aspectos clave del modelo implicado.

En virtud de estos antecedentes, y particularmente en el contexto de la formación docente para la Educación Inicial (EI), el análisis de fenómenos electrostáticos se presenta como una oportunidad clave para elaborar un modelo de partículas con carga susceptibles de desplazarse, que permita explicar algunas de las propiedades eléctricas de los materiales. Este tipo de modelizaciones posee un alto potencial de significatividad y podría favorecer futuras tareas docentes orientadas a elaborar explicaciones sobre fenómenos naturales en la EI. Así, el presente trabajo constituye un aporte a un campo de formación aún poco explorado como lo es la enseñanza basada en modelos, de la electrostática en este caso, en el profesorado en EI, el cual no registra antecedentes sistematizados en la literatura consultada.

Las ideas claves disciplinares

La integración de los campos de formación durante el desarrollo de la UD implicó la producción de unas ideas clave (Adúriz-Bravo, 2005), entendidas como proposiciones sencillas consideradas estructurantes y significativas en relación con los fenómenos a modelizar y los aspectos de NOS a construir. Las ideas clave disciplinares (ICD) en esta UD se elaboraron en torno a un modelo de materiales constituidos por partículas que pueden moverse. Su elaboración implicó una revisión de modelos actuales físicos a partir del cual se identificaron los aspectos más relevantes que deberían construir las y los estudiantes durante el proceso de modelización.

ICD1: Los materiales poseen propiedades eléctricas relacionadas al comportamiento de partículas con carga positiva o negativa que se encuentran balanceadas.

ICD2: Al frotar dos materiales se produce un movimiento de partículas con carga negativa.

ICD3: Los materiales pueden atraerse o repelerse de acuerdo a la distribución de sus partículas cargadas.

ICD4: Un material cargado puede atraer a un material sin cargar debido a un reordenamiento de sus partículas, que se denomina inducción.

Metodología

La investigación llevada a cabo adoptó un enfoque metodológico de tipo cualitativo (Taylor, 2014). Los datos surgieron por un tipo especial de intervención de la docente-investigadora mediado por el diseño y la implementación de una Unidad Didáctica (UD) en el contexto natural de las clases de la asignatura Ciencias Naturales y su Didáctica en la formación del profesorado en Educación Inicial de una universidad pública argentina. En este marco de investigación educativa, los llamados estudios de diseño (DBR) (Reigeluth y Frick, 1999 citados por Rinaudo y Donolo 2010) tienen como propósito generar contribuciones teóricas, ya sea para precisar, extender, convalidar o modificar teoría existente o para generar nueva teoría. Estas investigaciones de diseño permitan mediar entre las asunciones teóricas del diseño y la práctica educativa en el aula asumiendo que el aprendizaje es contextual (Guisasola, 2024). Desde esta perspectiva, y en consonancia con el diseño de la actividad científica escolar (ACE) (Sanmartí, 2002), se desarrolló un trabajo de elaboración, implementación y evaluación de una secuencia de enseñanza en un ciclo iterativo (Psillos and Kariotoglou, 2016), el cual permite que se desarrollen condiciones para un análisis profundo de los dispositivos didácticos. El objetivo de estudios de este tipo es construir corredores conceptuales validados que tiendan puentes entre la investigación educativa y las necesidades concretas de la enseñanza (Rinaudo y Donolo, 2010).

El trabajo se organizó en dos ciclos: un estudio preliminar (Ciclo 1), que permitió ajustar y rediseñar la propuesta, y un estudio definitivo (Ciclo 2), cuyos resultados fueron la base para el análisis general y las conclusiones. La implementación de la UD en su fase definitiva se llevó a cabo en el segundo semestre del año 2023 con un total de 18 estudiantes organizados en 7 grupos, y ocupó el dictado de 4 clases de 3 horas cada una.

Los grupos de estudiantes y las dinámicas de trabajo constituyeron el principal dispositivo de producción de datos empíricos para esta investigación. En esta etapa, y por trabajar en el contexto natural de las clases, se definieron unidades de análisis cercanas a las posibilidades concretas de recolección de datos que la docente-investigadora podía desarrollar en su tarea habitual de formación de docentes. A partir de ello, se conformó un corpus documental integrado por producciones de textos escritos de los grupos, producciones de esquemas y maquetas con textos escritos complementarios, e intercambios y discusiones con toma de notas en el cuaderno de registros. Posteriormente, se definieron las unidades de registro, entendidas como las unidades de significación que serían sometidas al proceso de codificación; es decir, segmentos de contenido considerados como unidades básicas para la categorización (Bardin, 1986). En esta investigación, las unidades de registro estuvieron constituidas por elementos presentes en las producciones escritas y gráficas de las y los estudiantes que permitían identificar aspectos relevantes de los modelos construidos y de su evolución a lo largo de las actividades.

La evolución de los modelos construidos por las y los estudiantes se analizó mediante una comparación entre sus producciones iniciales y las correspondientes a la fase de estructuración del modelo (López-Mota y Rodríguez-Pineda, 2013). Para el análisis de los procesos de modelización se identificaron regularidades a través de un procedimiento inferencial inductivo-teórico (Bardin, 1986). A partir de este análisis se elaboraron categorías que agruparon distintos elementos bajo un hiperónimo genérico, otorgando sentido a los datos. A efectos de robustecer los análisis y hacerlos más consistentes, las categorías construidas se compartieron con el equipo que conforma la tesista, sus directores e invitados externos. La categorización fue luego contrastada con aspectos seleccionados de la historia de la evolución del modelo, lo que permitió complejizar los resultados y dotarlos de mayor consistencia.

El diseño de la unidad didáctica

En el marco de los DBR, las UD's constituyen dispositivos privilegiados de intervención e investigación, en tanto permiten diseñar, implementar y evaluar (DIyE) propuestas de enseñanza en contextos reales. Para esta investigación, el diseño de la UD (Anexo 1) se llevó a cabo teniendo en cuenta las orientaciones generales de la actividad científica escolar (ACE) (Sanmartí, 2002) y la propuesta de integración de campos de formación disciplinar, metacientífica y didáctica en el profesorado (Lozano, et al., 2021). Esta tarea implicó la elaboración de actividades para el desarrollo de las diferentes etapas de la modelización. En este artículo se presenta el esquema general de la UD, pero se desarrollan solo los resultados de la modelización disciplinar, correspondientes a las actividades 1 a 5, referidas a la modelización inicial e intermedia, la estructuración del modelo y su aplicación.

Las actividades correspondientes al proceso de modelización disciplinar, objeto de análisis en este artículo, se desarrollaron durante las dos primeras clases y parte de la tercera (de las cuatro que integraron la implementación de la UD), con una duración aproximada de siete horas. Todas las actividades se llevaron a cabo en el aula-laboratorio destinada al dictado de la asignatura Ciencias Naturales y su Didáctica. Desde el inicio de la implementación, las y los estudiantes se organizaron en grupos de dos y tres integrantes, modalidad que favoreció, en una primera instancia, la discusión y construcción conjunta de explicaciones al interior de cada grupo y, posteriormente, el intercambio y la confrontación de ideas entre los distintos grupos durante las puestas en común.

Resultados y análisis de los procesos de modelización disciplinar

Se presenta a continuación un análisis general del proceso de modelización disciplinar. Por razones de espacio, los ejemplos utilizados corresponden a los grupos G4 y G6. Para las actividades correspondientes a la modelización disciplinar se ocuparon, de las 4 clases totales que implicó la implementación de la UD, dos clases y media, es decir, cerca de 7 horas. Se llevaron a cabo en el aula 5 de laboratorio destinada a cursar la asignatura Ciencias Naturales y su didáctica.

Resultados y análisis de las actividades para la modelización inicial

La Actividad 1, correspondiente al inicio del proceso de modelización, tuvo como consigna: Observen la imagen caso "gato-globo". Utilizando los materiales que se encuentran a disposición sobre la mesa, indaguen y respondan: ¿con cuáles de ellos, y haciendo qué acciones, pueden producir fenómenos que puedan vincularse con el de la imagen?

A partir del análisis inicial de la imagen del caso "gato-globo", las y los estudiantes indagaron sobre el comportamiento análogo de diversos materiales. De las 23 producciones de fenómenos llevadas a cabo por los grupos, 17 guardaron un alto grado de similaridad al caso "gato-globo". Los materiales utilizados fueron diversos: globos, tubos de PVC, bolsas de polietileno, algodón, lana y piel, entre otros. En la mayoría de los grupos, al producir fenómenos que pudieran vincularse con la situación planteada al inicio, indagaron en torno a frotar distintos materiales y acercarlos a pequeños trozos de materiales que no fueron frotados. Los fenómenos se expresan utilizando palabras como "se adhieren", "se pegan", "se levantan", "se atraen" y "estática". Entre estas expresiones, las vinculadas con la atracción fueron las más frecuentes, con cinco apariciones, mientras que las expresiones asociadas a la adhesión se registraron en dos oportunidades. Por su parte, la noción de estática y la expresión referida a que los objetos "se levantan" aparecieron una vez cada una. Estas expresiones anticipan, de alguna manera, que la búsqueda de evidencia no es inocua, está intervenida por modelos que dan sentido y que comienzan a aparecer en virtud de la propia naturaleza de la ACE:

"La fricción del globo con la madera logró atraer y generar estática con papelitos y plumas." (G4)

"El tubo de PVC lo frotamos con el guante de lana y lo acercamos a papelitos y se generó el fenómeno del gato-globo. Frotando la seda con el tubo de PVC se adhiere la pluma o atrae el pelo de una compañera. Frotamos la esfera de telgopor con el algodón y la acercamos a los papelitos y se generó la reacción." (G6)

La Actividad 2 tuvo como consigna: ¿cómo explicarían lo que sucede? Construyan en grupo un/os modelo/s con dibujos/gráficos/textos, de la manera más detallada posible, para explicar por qué ocurren esos fenómenos. Tomen fotografías de los modelos gráficos y textos producidos

Luego de la producción de fenómenos, los grupos expusieron sus modelos explicativos iniciales y los representaron a través de dibujos y textos explicativos. En las explicaciones construidas para explicar cada fenómeno percibido como similar al caso "gato-globo", se pudieron identificar modelos usando constructos llamados por ellos energía, calor, estática y cargas eléctricas; algunos de esos constructos son parcialmente compatibles con el MCE a trabajar en clase. Si bien varios de los modelos iniciales contemplaron aspectos razonables, tales como la existencia de materiales cargados eléctricamente, la atracción entre materiales con cargas opuestas o la posibilidad de movilidad de cargas entre cuerpos, la naturaleza de las explicaciones fue diversa; estas, en muchos casos, presentaron inconsistencias.

Un aspecto compartido y central en todas las modelizaciones fue el papel de la frotación como acción que de alguna manera da origen a los

fenómenos producidos; sin embargo, la función asignada a dicha acción varió significativamente. Teniendo en cuenta esta consideración, se elaboraron dos categorías para organizar esquemáticamente las producciones: modelos centrados en materiales con cargas eléctricas *modificadas por la frotación* y modelos centrados en la frotación como *generadora de energía/carga* en los materiales (Tabla 2).

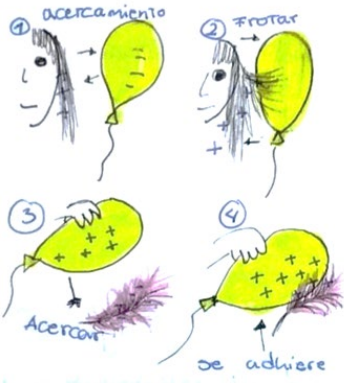
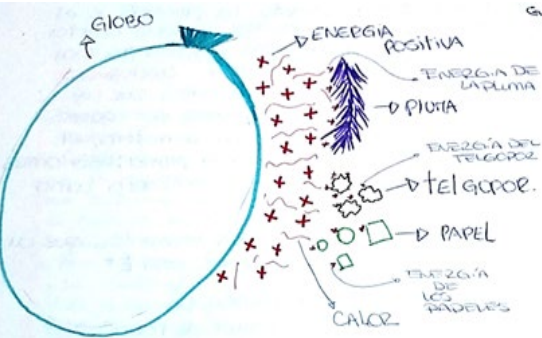
Categorías	Ejemplos de modelos elaborados por los grupos
Modelos centrados en materiales con cargas eléctricas modificadas por la frotación	 "Los materiales tienen distinto tipo de carga. El pelo tiene carga positiva (+) y el globo carga negativa (-). Al generar fricción entre el pelo y el globo, se transforma la energía del globo de negativo (-) a positivo (+). Al acercar el globo a la pluma, la cual cuenta con energía negativa (-), hace que la energía cambie y se transforme logrando que la pluma se adhiera positivamente al globo." (G6)
Modelos centrados en la frotación como generadora de energía/carga en los materiales	 "Cuando friccionamos el globo con la lana, el globo generó energía positiva atrayendo a la pluma. Llamamos fricción al roce de dos elementos que al hacerlo genera calor y por ende energía positiva." (G4)

Tabla 2: Ejemplos de las dos categorías de modelos elaborados en la modelización inicial.

En la primera categoría se encuentran los grupos G1 y G6, que explicaron el fenómeno considerando que la atracción se produce porque la frotación actúa sobre las cargas eléctricas, positivas y negativas, que ya poseen inicialmente los materiales. En estos casos se identifica la siguiente secuencia: los materiales tienen cargas eléctricas, la frotación produce modificaciones y luego se genera la atracción.

En la segunda categoría se encuentran los grupos G2, G3, G4, G5 y G7, que explicaron el fenómeno considerando que es la frotación la que genera/activa calor o energía en los materiales y eso produce la atracción. Así, y a diferencia de los modelos anteriores que reconocen un estado eléctrico inicial en los materiales, en estos grupos es la acción de frotar la que confiere una propiedad a los materiales que inicialmente no tenían. Dentro de esta categoría, los grupos G2, G3 y G4 mencionan que la frotación genera calor como un intermediario que luego se transforma en energía, lo que permite que los materiales se atraigan.

Para la elaboración de estas categorías utilizamos algunos aspectos de una revisión de encuadres histórico-epistemológicos llevada a cabo sobre la evolución histórica de modelos que abordaron fenómenos similares durante el siglo XVII. En esa revisión identificamos el modelo de efluvios —del latín *effluvium*, “emanación”, formado de *ex*: fuera y *fluo*: fluir—, sostenido por Gilbert (1600/1893), quien consideraba que: Los movimientos eléctricos provienen de la materia, humildes y confinados en ciertas prisiones, por así decirlo; por lo que su fuerza tiene que ser despertada por fricción hasta que la sustancia alcanza un calor moderado, y emite un efluviu, y su superficie está hecha para brillar. Ahora el ámbar no atrae por el calor, porque cuando se calienta en un fuego y se acerca a pajitas, ya sea tibia, o caliente, incluso ardiendo, o incluso llevado al punto de flama, no tiene atracción (p. 86).



Figura 4: Gilbert lleva adelante una demostración sobre electricidad frente la Reina Isabel I de Inglaterra (Ackland, 1903).

Los modelos G1 y G6 pueden relacionarse con el modo en el que Gilbert explicaba que la “fricción” modifica un estado natural del cuerpo, y las explicaciones del resto de los grupos, en las cuales la fricción “genera” calor/energía, pueden vincularse con el modo en el que Gilbert piensa el rol de la fricción y tensiona la cuestión del calor —al considerarlo un efecto secundario del frotamiento—, pero no como causa directa de la atracción. Así, estas ideas provenientes de la historia de la evolución del modelo, resultaron nodales para iluminar ciertas regularidades presentes en las explicaciones iniciales e identificar algunas consistencias internas, estableciendo un puente interpretativo entre el modelo histórico erudito y el modelo inicial escolar.

Una vez finalizada la modelización inicial, se presentaron, compararon y discutieron los modelos construidos y sus aspectos más significativos. Se problematizaron especialmente aquellas explicaciones que incorporaron al calor como un intermediario del proceso. De un modo similar al planteo que ofreció Gilbert en el siglo XVII, se puso en cuestión la relación directa entre calor y carga eléctrica a partir del análisis de casos donde materiales previamente calentados no producían los fenómenos estudiados. En este marco, se introdujo un modelo de calor entendido como energía que se transfiere entre materiales con diferente temperatura.

Para continuar con el proceso de ajuste de modelos, se retomaron aquellas explicaciones que consideraron la presencia de cargas eléctricas en los materiales. A partir de una intervención docente, se propuso un modelo basado en una visión corpuscular de la materia, de materiales constituidos por partículas con cargas positivas y negativas que se encuentran inicialmente balanceadas (ICD1).

Resultados y análisis de las actividades para la modelización intermedia

La Actividad 3, correspondiente a la etapa de modelización intermedia, tuvo como consigna: A partir de las ideas construidas y utilizando la "serie triboeléctrica", ¿qué sucederá si frotamos dos bolsas de polietileno con un mismo material y luego las acercamos? Elaboren un texto que permita explicar lo sucedido.

Una vez ajustados los modelos iniciales se retomaron algunos fenómenos relacionados con la atracción y repulsión de materiales previamente frotados, fenómenos que se habían producido en la primera actividad. Se alentó a las y los estudiantes a ajustar el modelo a partir de considerar que al frotar dos materiales se produce un movimiento de partículas con carga negativa (ICD2). Se incorporó para ello un mediador analógico (Lozano, 2016) que permitió representar la restricción del movimiento de partículas con carga positiva, a diferencia de las partículas con carga negativa, que sí pueden moverse entre materiales.

En este marco, se volvió a analizar el fenómeno producido por el G4 durante la indagación inicial, en el que dos bolsas de polietileno frotadas con diferentes materiales se atraían entre sí. En una primera instancia, las y los estudiantes discutieron al interior de cada grupo posibles explicaciones del fenómeno a partir de los modelos construidos hasta ese momento. Posteriormente, durante la puesta en común, la docente-investigadora promovió el intercambio entre los grupos mediante preguntas como: ¿por qué se atraen las bolsas?, ¿qué materiales se usaron para frotarlas?, ¿en qué dirección se moverán las partículas con carga negativa? Esto generó intercambios al interior de los grupos y, ante la necesidad de contar con información sobre el comportamiento de los materiales, se introdujo la serie triboeléctrica como otro mediador en la modelización. La actividad continuó con la producción del caso de las "bolsas frotadas", con el fin de recolectar nuevas evidencias y proponer un nuevo modelo explicativo.

Durante esta etapa hubo una gran implicancia en el uso de la serie triboeléctrica como un mediador que permitió ordenar parte del conjunto de evidencias recolectadas. Algunos grupos, como G4, utilizaron la serie para anticipar el comportamiento de los materiales y tomar decisiones sobre cuáles elegir para reproducir el fenómeno. Otros grupos, como G6 y G7, manifestaron que tuvieron que cambiar los materiales seleccionados porque no iba a suceder lo que esperaban:

"Luego de revisar la serie triboeléctrica decidimos frotar ambas bolsas con lana la cual tiene tendencia a quedar mayoritariamente con cargas positivas a diferencia de las bolsas." (G4)

"Al principio habíamos colocado un material como el globo, pero se encuentra cerca de las bolsas en la serie triboeléctrica, con tendencia a cargarse con cargas negativas, por eso decidimos cambiar al pelo." (G6)

Al elaborar sus explicaciones, todos los grupos hicieron mención explícita al movimiento de partículas con carga negativa entre materiales. Este reconocimiento pudo deberse al énfasis puesto en la restricción del movimiento de partículas con carga positiva durante el ajuste de los modelos iniciales y a la utilización de la serie triboeléctrica. Algunos grupos, como G6, indicaron que al acercar las bolsas sin ser frotadas no se producía

ninguna interacción, porque sus partículas se encontraban balanceadas. Luego de identificar cómo quedarían cargadas las bolsas, explicaron que la repulsión, en ese caso, se debía a que se encontraban cargadas de la misma manera.

“Frotamos las bolsas con lana dejando en desequilibrio a ambas, la lana mayormente positiva y las bolsas mayormente negativas. Al juntar ambas bolsas cargadas negativamente, notamos que ambas se repelen, es decir, se separan.” (G4)

“Primero juntamos las bolsas y no se unen porque tienen las mismas cargas positivas que negativas. Luego frotamos ambas bolsas con el pelo y se pasaron las cargas negativas del pelo a las bolsas. Por último juntamos las bolsas y se repelen.” (G6)

En líneas generales, todos los grupos alcanzaron a adoptar un modelo intermedio que implicó el reconocimiento de materiales cargados eléctricamente, por exceso o defecto de partículas con carga negativa, condición que luego permite atraerse o repelerse. Los grupos G1 y G4 hicieron referencia a materiales cargados eléctricamente positivos o negativos, lo que evidencia un acercamiento a la relación entre comportamientos de materiales a nivel macroscópico a partir de comparaciones entre las actividades de sus partículas cargadas.

Resultados y análisis de la actividad para estructurar el modelo

La Actividad 4, correspondiente a la etapa de estructuración del modelo, tuvo como consigna: Observen la situación en la que Gilbert hace una demostración para la reina Isabel I en el siglo XVII: ¿a cuál/es de los fenómenos estudiados es similar? ¿cómo se encuentran las partículas del material previamente frotado? ¿y el qué no fue frotado? ¿qué sucederá con las partículas dentro de ese material teniendo en cuenta qué sólo las negativas pueden moverse? Elijan un fenómeno, análogo al caso “gato-globo”, ¿cómo explicarían lo que sucede? Elaboren un modelo que permita explicar a través de maquetas (esferas y chinchetas) y textos que acompañen. Tomen fotografías y envíen por WhatsApp.

Para continuar el proceso de modelización y explicar el fenómeno que dio inicio a la UD, se recuperó un fenómeno histórico análogo, relatado en el siglo XVII: un gran trozo de ámbar frotado con seda que atraía cuerpos ligeros de todas clases. La docente intervino con preguntas enfatizando que uno de los materiales implicados no había sido frotado previamente, promoviendo el reconocimiento del estado eléctrico inicial.

La docente investigadora, junto con una colaboradora que participó en esa clase, recorrieron los grupos para monitorear e intervenir en las discusiones. Todos los grupos lograron ubicar los materiales frotados en la serie triboeléctrica, reconociendo cómo quedarían cargados eléctricamente, pero surgieron dificultades al explicar el fenómeno de inducción. Las primeras hipótesis consideraron que los materiales se atraían por estar cargados de manera opuesta, lo cual era razonable teniendo en cuenta los aspectos del modelo disciplinar aceptado al momento. Uno de los grupos sugirió que el material no frotado tenía sus partículas balanceadas. El gradiente de discusiones fue aumentando mientras socializaron con el resto de la clase las ideas que iban ajustando. El grupo G7 preguntó a la docente

si las partículas negativas podían moverse dentro de los materiales. Al dársele una respuesta afirmativa, representaron la idea con maquetas de esferas de telgopor y chinchas. A partir de allí se discutió la posibilidad de que las partículas negativas pudieran reordenarse dentro de los materiales al acercarles un material cargado positiva o negativamente.

Finalmente, se consensuó la posibilidad de que un material cargado pueda atraer a uno sin cargar debido al reordenamiento interno de las partículas en este último —se identificó así el fenómeno conocido como inducción. El trabajo concluyó procediendo a elegir uno de los fenómenos estudiados, construir un modelo explicativo y representar mediante maquetas y textos. En la construcción de las maquetas se consensuó que las esferas de telgopor representarían los materiales y las chinchas de colores las partículas con carga negativa con posibilidad de moverse. G4 decidió modelizar el caso “gato-globo” mientras que G6 eligió uno de los fenómenos producidos por otro grupo.

Las maquetas elaboradas fueron fotografiadas e intervenidas con palabras y símbolos que enriquecieron las representaciones. En los textos se diferenciaron las etapas del proceso y se explicaron los estados de carga de cada material; ello deja en evidencia una construcción progresiva y cada vez más compleja del modelo explicativo del fenómeno de inducción (Tabla 3):

“En el momento 1 el globo tiene su carga (-) y la lana su carga (+). En el momento 2, se frota el globo con la lana y le pasa carga negativa. Momento 3 el globo que es (-) se atrae con el pelo que está balanceado y queda la parte (-) abajo quedando la (+) haciendo contacto con el globo.” (G4)

“En el primer momento se puede observar un modelo de representación de la varilla de vidrio y la bolsa de polietileno previamente frotado, en la cual la bolsa queda con un exceso de partículas negativas y la varilla de vidrio queda con un defecto de partículas (-) es decir, cargado positivamente. En un segundo momento se acerca la varilla de vidrio que se encuentra cargado positivamente, hacia la pluma que se encuentra en un estado balanceado (con la misma cantidad de partículas positivas que negativas) y esta es atraída por la varilla. Esto ocurre porque las cargas de las plumas que están balanceadas se van reorganizando en un sector, generando así la atracción a la varilla de vidrio (+).” (G6)

En líneas generales, los grupos integraron en sus modelizaciones —tanto en maquetas como en textos— las ideas clave construidas durante el proceso de modelización, incluyendo ahora la ICD4. Identificaron en principio la electrización del material frotado y, a partir del uso de la serie triboeléctrica, reconocieron cómo quedaría cargado. La referencia a la carga eléctrica y a las partículas estuvo presente en la totalidad de las producciones, mientras que seis grupos diferenciaron explícitamente cargas positivas y negativas. También explicitaron el estado inicial sin carga del material que no fue frotado. Finalmente, utilizaron el mecanismo de inducción para explicar que en el material sin cargar las partículas se pueden “reorganizar”, con una frecuencia de dos veces, “agrupar” o “alejan” con una frecuencia de dos veces cada una, y que por

ello al acercar un material cargado es atraído. Así, aunque persistieron diferencias en los modos de expresar el mecanismo, las producciones muestran una incorporación generalizada de las entidades y relaciones centrales del modelo disciplinar para explicar los fenómenos estudiados.

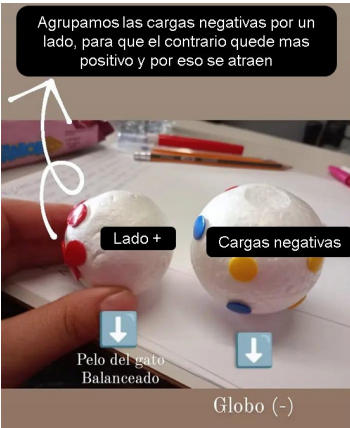
Grupo	Representación de modelo adoptado
G4	
G6	

Tabla 3: Ejemplos de modelos reconstruidos en la etapa de estructuración.

Resultados y análisis de la actividad para aplicar el modelo

La Actividad 5, correspondiente a la etapa de aplicación del modelo, tuvo como consigna: Lean el siguiente texto (Anexo 2) y piensen: ¿por qué creen que utilizaron esos materiales? ¿cómo explicarían su funcionamiento y la posibilidad de que en cada inhalación-exhalación se genere una señal eléctrica? Imaginen que podemos observar a nivel nanométrico estos materiales y sus posibles interacciones y elaboren un modelo para explicar dentro de la figura. Realicen un texto explicativo que acompañe.

La actividad de aplicación estuvo orientada a transferir las nuevas formas de ver y explicar a un nuevo contexto de problematización: la utilización de un nanogenerador triboeléctrico en la construcción de mascarillas para monitorear la respiración de personas (Actividad 5 de la Tabla 1). La situación fue de interés para las y los estudiantes debido a la posibilidad de pensar teóricamente sobre un fenómeno significativo a nivel de la salud. Sin embargo, en principio se mostraron desconcertados respecto al cómo ordenar la información brindada, por lo que se recorrieron los grupos

orientando a retomar las ideas clave consensuadas y establecer analogías con los fenómenos estudiados. A la hora de pensar acerca de la elección de los materiales para diseñar el dispositivo, los grupos usaron la serie triboeléctrica para ubicarlos y predecir cómo quedarían cargados al frotarse:

“Usaron esos materiales porque el algodón que tiene tendencia a perder cargas negativas y el polietileno que tiene tendencia a recibir cargas negativas.” (G4)

“Según la serie el algodón tiende a perder las negativas y estas son transportadas al UHMWPE.” (G6)

Luego comenzaron a pensar teóricamente qué sucedía cada vez que un paciente inhalaba y exhalaba, lo que implicaba que los dos materiales de la mascarilla entraran en contacto. Por último, representaron con esquemas y textos los modelos elaborados. En el caso de G6, si bien el texto solo reconoce el movimiento provocado por la inhalación y la exhalación, en el esquema representan las cargas moviéndose durante la fricción de los materiales. El grupo no explicita que esas cargas son las negativas, a diferencia de G4 que sí las reconoce (Tabla 4).

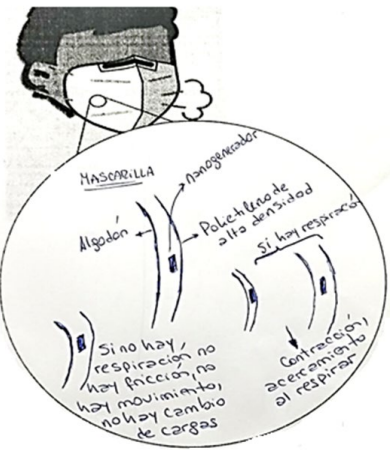
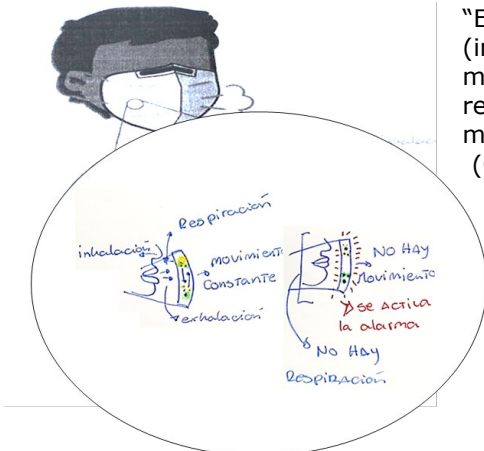
Grupo	Representación del modelo adoptado
G4	 “Se puede ver que, al respirar, es decir al friccionar, surge un movimiento de las cargas negativas del algodón al polietileno. Si esta fricción no sucede, porque no hay respiración, estos mismos se alejan manteniéndose ambos en un balance de su carga y suena un sonido para avisar que no se registra respiración en el paciente.” (G4)
G6	 “En el proceso de la respiración (inhalación y exhalación) hay un movimiento constante, al detenerse la respiración también se detiene ese movimiento y ahí se activa la alarma.” (G6)

Tabla 4: Ejemplos de modelos usados en la fase de aplicación.

Las representaciones elaboradas por los grupos —tanto dibujos como esquemas y textos— evidencian un grado de compromiso con la actividad de aplicación propuesta. Si bien la mayoría de los grupos (G1, G2, G4, G7) reconoce que la fricción generada entre materiales durante la respiración provocó un movimiento de partículas con carga negativa entre los mismos, solo dos grupos (G3 y G5) hacen mención explícita a que dicho movimiento provoca señales eléctricas, tal como se menciona en el texto que acompañó la actividad.

Discusión

La problemática de la enseñanza de la electrostática, en el campo de la física, ha constituido una línea de investigación relevante dentro de la didáctica de las ciencias naturales debido a las dificultades que presenta la comprensión de sus conceptos fundamentales. En un estudio realizado con maestros en formación inicial, Criado y Cañal (2002) identificaron distintos niveles de dificultad en la comprensión de los fenómenos electrostáticos. Los autores constataron que las explicaciones sobre la atracción entre cuerpos cargados y el concepto de neutro presentaron menos dificultades, mientras que las interpretaciones relacionadas con la inducción y la electrización de metales resultaron más complejas. A partir de estos resultados, los autores plantearon una progresión de actividades que parte del estudio de las atracciones y repulsiones entre cuerpos cargados y avanza hacia fenómenos de inducción.

Los diseños de las actividades aquí reportadas buscaron atender esta progresión mediante un recorrido que partió del fenómeno «gato-globo», recuperando fenómenos de atracción y repulsión producidos por las y los estudiantes y realizando un ajuste progresivo de sus modelos explicativos a la luz de nuevas evidencias y con la incorporación de mediadores analógicos. Se señala sin embargo que la secuencia implementada no llegó a abordar la electrización de metales, lo que constituye una limitación del recorrido desarrollado, ya que su incorporación habría ampliado el dominio de fenómenos a explicar y generado nuevas oportunidades para poner a prueba y ajustar el modelo disciplinar elaborado.

Sobre los procesos de modelización disciplinar, los resultados obtenidos durante la implementación de la UD se encuentran en consonancia con investigaciones previas sobre enseñanza basada en la modelización (Gilbert y Justi, 2016), y particularmente con aquellas centradas en la modelización de fenómenos electrostáticos (Campbell y Neilson, 2012; Russ y Odden, 2017). Tal como señalan Campbell y Neilson (2012), este enfoque no solo contribuye al aprendizaje significativo de conceptos de física, sino que también permite poner en juego aspectos epistemológicos centrales de la actividad científica. En este sentido, el recorrido analizado puede caracterizarse como un ciclo completo de modelización, en consonancia con la conceptualización desarrollada por Garrido et al. (2022) y Lozano et al. (2016, 2018).

Asimismo, los resultados dialogan con investigaciones específicas que han desarrollado propuestas que contextualizan la enseñanza de la electrostática en la historia de la electricidad, como las de Castells et al. (2015) y Romero et al. (2017). Estos trabajos muestran que este tipo de

propuestas didácticas favorecen no solo el aprendizaje de aspectos conceptuales de la electrostática, sino también sobre la naturaleza y la historia de la ciencia y la cultura. En nuestro estudio, la incorporación de un escenario histórico permitió contextualizar la modelización disciplinar y estructurar la idea sobre cómo un material cargado puede atraer a un material sin cargar. Esto fue posible por la relación analógica entre el fenómeno que dio inicio a la unidad didáctica (el caso del "gato-globo") y el caso del ámbar y la seda ambientado históricamente.

Conclusiones

En el marco de la construcción de los modelos científicos escolares, la utilización del caso "gato-globo" lo constituyó en *epítome*: un caso bien explicado que por tanto pasa a funcionar como ejemplar para extender la explicación (Izquierdo et al., 1999). El epítome permitió a las y los estudiantes producir fenómenos similares y elaborar modelos iniciales que funcionaran como punto de partida del proceso de modelización científica escolar. En este uso del caso ejemplar, el encuadre histórico funcionó como herramienta que permitió enriquecer, a partir de diferentes perspectivas y matices, el análisis y la evolución de los modelos iniciales hacia conceptualizaciones más robustas (Álvarez-Soria, 2024).

Un aspecto central en el proceso de modelización disciplinar en nuestras clases fue el diseño cuidadoso de actividades científicas escolares (ACE) que permitieron pensar teóricamente fenómenos electrostáticos. En este sentido, las actividades que implicaron la búsqueda y clasificación de evidencias fueron significativas para producir fenómenos similares. La variedad de modos semióticos y de materiales utilizados brindó muchas posibilidades a la hora de construir modelos para explicar los fenómenos bajo estudio. El trabajo de Russ y Odden (2017) destaca que la relación entre modelo y evidencia es recursiva; las y los estudiantes utilizan modelos para reconocer evidencias y evidencias para robustecer modelos. Este tipo de prácticas de búsqueda de sentido fueron recurrentes en las ACE y permitieron transitar progresivamente desde modelos iniciales hacia modelos científicos escolares más complejos y ajustados.

Durante el proceso de modelización, las y los estudiantes tuvieron oportunidades para representar los modelos construidos a través de dibujos, diagramas, maquetas y textos explicativos. Estas representaciones, como materia prima sobre la cual trabajar en las clases de ciencias (Gomez, 2014), fueron comunicadas, negociadas y reguladas en las clases. Su análisis muestra una progresión y aumento en la calidad: en un momento se incorpora la utilización de símbolos (-) (+), expresiones propias del modelo disciplinar, y se llega paulatinamente a vincular fenómenos macroscópicos con propiedades estructurales (submicroscópicas) de los materiales. El estudiantado llega a explicar diversos fenómenos a partir de la consideración de que los materiales implicados poseen partículas positivas fijas y partículas negativas que pueden moverse.

Los resultados también permiten reconocer algunas dificultades en la construcción del modelo disciplinar. En particular, en algunos grupos se identificó un obstáculo para relacionar el estado final de carga de los materiales con la explicación de la interacción posterior, así como para

explicitar las relaciones entre el reordenamiento de partículas y la atracción en situaciones de inducción. En este sentido, los modelos producidos deben interpretarse como una reelaboración parcial y situada del modelo científico escolar y no como una estructura acabada. Las dificultades observadas son consistentes con los obstáculos conceptuales señalados en investigaciones previas sobre la enseñanza de la electrostática (Driver, 1989; Furió et al., 1998) y ponen de manifiesto que la construcción de explicaciones sobre los fenómenos naturales requiere múltiples oportunidades de revisión, contrastación y aplicación del modelo.

La conclusión principal de esta investigación es que el trabajo de aula con ACE cuidadosamente diseñadas según las directrices de la enseñanza de las ciencias basada en modelos, habilitó en las y los estudiantes pensamiento teórico (modélico) sobre el mundo. Nuestra UD parece haber favorecido aprendizajes más estables y significativos del modelo disciplinar (físico) involucrado. La experiencia abre la posibilidad de reflexionar, desde una perspectiva formativa, sobre el valor de las propuestas basadas en la modelización para la formación docente inicial. Lejos de constituir una estrategia aislada, la modelización se revela aquí como una práctica vertebradora que favorece la apropiación de contenidos científicos y, al mismo tiempo, promueve una mirada didáctica informada y situada.

Por último, echar una mirada crítica a la implementación de nuestra unidad didáctica de triboelectricidad nos mostró las oportunidades que ofrece integrar los campos de formación disciplinar, metacientífica y didáctica en la formación del profesorado para la Educación Inicial.

Referencias bibliográficas

Adúriz-Bravo, A. (2005). *Una introducción a la naturaleza de la ciencia: La epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales*. Fondo Editorial Económico.

Adúriz-Bravo, A. (2010). Aproximaciones histórico-epistemológicas para la enseñanza de conceptos disciplinares. *EDUCyT*, 1, 125-140.

Adúriz-Bravo, A. (2015). Pensamiento "basado en modelos" en la enseñanza de las Ciencias Naturales. *Revista Del Instituto De Investigaciones En Educación*, 6, 20-31. <https://doi.org/10.30972/riie.063680>

Ackland Hunt, A. (1903). *Dr. William Gilbert showing his experiment on electricity to Queen Elizabeth I and her court*, [Painting]. <https://miniurl.cl/zkg5tz>

Álvarez-Soria, J. (2024). *La modelización del origen de la célula eucariota . Integración disciplinar y metacientífica en la formación del profesorado en Biología* [Tesis de maestría no publicada, Universidad Nacional del Comahue].

Bardin, L. (1986). *Análisis de contenido*. 3. ed. Akal.

Campbell, T., and Neilson, D. (2012). Modeling electricity: Model-based inquiry with demonstrations and investigations. *The Physics Teacher*, 50(6), 347-350.

Castells, M., Konstantinidou, A., and Cerveró, J. M. (2015). A

teaching proposal on electrostatics based on the history of science through the reading of historical texts and argumentative discussions. *Il Nuovo Cimento*, 100(89), 38.

Chiu, M.H. and Lin, J.W. (2019). Modeling competence in science education. *Discip Interdiscip Sci Educ Res* 1, 12. <https://doi.org/10.1186/s43031-019-0012-y>

Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of science education*, 22(9), 1041-1053. <https://doi.org/10.1080/095006900416901>

Driver, R. (1989). Students' conceptions and the learning of science. *International Journal in Science Education* 11 (5), 481-490.

Echeverría, J. (1998). *Filosofía de la ciencia*. Akal.

Furió, C., Guisasola, J., & Zubimendi, J. L. (1998). Problemas históricos y dificultades de aprendizaje en la interpretación newtoniana de fenómenos electrostáticos considerados elementales. *Investigações em ensino de Ciências*, 3(3), 165-188.

Garrido, N., López, V., and Pintó, R. (2019, August). Analysis of the learning of electrostatic concepts in pre-service physics teachers. In *Journal of Physics: Conference Series*, 1287 (1), 012034.

Garrido Espeja, A., Soto Alvarado, M., y Couso Lagarón, D. (2022). Formación inicial de docentes de ciencia: posibles aportes y tensiones de la modelización. *Enseñanza de las Ciencias*, 40(1), 87-105. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3286>

Giere, R. (1988). *Explaining science: A cognitive approach*. University of Chicago Press.

Giere, R. N. (2004). How models are used to represent reality. *Philosophy of science*, 71(5), 742-752.

Gilbert, J. and Osborne, R. (1980) The use of models in science and science teaching. *European Journal of Science Education*, 2 (1), 3-13.

Gilbert, J., and Justi, R. (2016) Models of modelling. In: J. Gilbert, y R. Justi. (Eds.), *Modelling-based teaching in science education* (pp.17-40). Cham: Springer.

Gilbert, W. (1893). On the Loadstone and Magnetic Bodies and on the Great Magnet the Earth. (P.F.Mottelay, Trans.). London B. Quaritch. (Original work published in 1600)

Gómez Galindo, A. (2014). El uso de representaciones multimodales y la evolución de los modelos escolares. En C. Merino, M. Arellano y A. Adúriz-Bravo (Eds.), *Avances en Didáctica de la Química: Modelos y lenguajes* (pp.51-61).

Guisasola, J. (2024). La investigación basada en el diseño: algunos desafíos y perspectivas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 21(2), 2801.

Izquierdo, M.; Sanmartí, N. y Espinet, M. (1999). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. *Enseñanza*

de las ciencias, 17 (1), 45-59.

Izquierdo Aymerich, M., y Adúriz-Bravo, A. (2021). Contribuciones de Giere a la reflexión sobre la educación científica. *ArtefaCToS: revista del Instituto de Estudios de la Ciencia y la Tecnología*, 10, (1), 75-87.

Khan, S. (2011). What's missing in model-based teaching. *Journal of Science Teacher Education*, 22 (6), 535-560.

Kress, G., Jewitt, C., Ogborn, J., and Tsatsarelis, C.H. (2001). *Multimodal teaching and learning. The rhetorics of the science classroom*. Continuum.

López-Mota, Á. D., y Rodríguez-Pineda, D. P. (2013). Anclaje de los modelos y la modelización científica en estrategias didácticas. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, (Extra), 2008-2013.

Lozano, E. E., Bahamonde, N., Cremer, C., y Mut, P. N. (2018). El desarrollo de una línea metacientífica para la enseñanza del modelo de presión arterial en la formación del profesorado en Biología. *Revista electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 17, (3), 564-580. <https://rid.unrn.edu.ar/jspui/handle/20.500.12049/3476>

Lozano, E. E., Cremer, M. C., Mut, P. N. y Bahamonde, N. (2021). Diseño, implementación y evaluación de una unidad didáctica que integra modelización biológica y metacientífica a partir de un hecho sociocientífico en la formación del profesorado. *Bio-grafía*, 14(27), 78-90. <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/bio-grafia/article/view/15690>

Marzabal, A., Merino, C., Soto, M., y Cortés, A. (2024). Modeling-Based Science Education. In: A. Marzabal y C. Merino (Eds.), *Rethinking Science Education in Latin-America: Diversity and Equity for Latin American Students in Science Education* (pp. 245-261). Cham: Springer Nature Switzerland.

Matthews, M. (1994). Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: La aproximación actual. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 12 (2), 255-278.

Moreira, M. A., Greca, I. M., y Rodríguez Palmero, M. L. (2002). Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. *Revista brasileira de pesquisa em educação em ciencias*, 2 (3), 36-56.

Nersessian, N. (1999). Model-based reasoning in conceptual change. In *Model-based reasoning in scientific discovery* (pp. 5-22). Boston, MA: Springer US.

Nersessian, N. (2002). The cognitive basis of model-based reasoning in science. In: P. Carruthers; S. Stich y M. Siega, (Eds.), *The cognitive basis of science* (pp. 133-153). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511613517.008>

Osborne, J. (2014). Teaching critical thinking? New directions in science education. *School Science Review*, 352, 53-62

Pereda-García, S. y López-Mota, A. (2016). Propuesta de modelización para abordar los fenómenos electrostáticos en alumnos de secundaria. *Latin-American Journal of Physics Education*, 10(3), 3. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6001925>

Pinillos, A. S., y Adúriz-Bravo, A. (2022). Lectura epistemológica de la historia de la ciencia en los "descubrimientos": explicación y abducción en la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Brasileira de História da Ciência*, 15(2), 570-594.

Psillos, D. and Kariotoglou, P. (2016). *Iterative desing of teaching-learning sequences*. Springer

Pujalte, A. P. y Adúriz-Bravo, A. (2021). ¿De qué estamos hablando cuando hablamos de pensamiento científico en la escuela? *Quehacereducativo*, 167, 42-51. FUM-TEP.

Rinaudo, M. y Donolo, D. (2010) Estudios de diseño. Una perspectiva promisoría en la investigación educativa. *Revista de Educación a Distancia* (RED), (22), 1-29. <https://revistas.um.es/red/article/view/111631/105951>

Romero Chacón, Á., Aguilar Mosquera, Y., y Mejía, L. S. (2016). Naturaleza de las ciencias y formación de profesores de física. El caso de la experimentación. *Revista de Investigación Educativa*, (23), 75-98. <https://www.redalyc.org/pdf/2831/283146484005.pdf>

Russ, R. S. and Odden, T. O. B. (2017). Intertwining evidence-and model-based reasoning in physics sensemaking: An example from electrostatics. *Physical Review Physics Education Research*, 13(2), 020105-1-020105-14. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.020105>

Sanmartí, N. (2002). *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria*. Madrid: Síntesis Educación.

Shen, J., and Linn, M. C. (2011). A technology-enhanced unit of modeling static electricity: Integrating scientific explanations and everyday observations. *International Journal of Science Education*, 33(12), 1597-1623. <http://dx.doi.org/10.1080/09500693.2010.514012>

Taylor, P. C. (2014). Contemporary qualitative research: Toward an integral research perspective. In N. Lederman y S. Abell (Eds.) *Handbook of Research on Science Education*, 2 (pp. 38-54). Routledge. <https://espace.curtin.edu.au/handle/20.500.11937/29335>

Anexo 1: Desarrollo general de las actividades de la UD del estudio definitivo (Ciclo 2). En gris se marca el itinerario de la modelización disciplinar que dió lugar a los resultados publicados en este artículo.

Unidad Didáctica	
Actividades para la modelización disciplinar	Actividades para la construcción de ideas clave metacientíficas
<u>Actividad 1:</u> Se inicia con una imagen del caso "gato-globo" (un globo frotado atrae el pelaje de un gato al acercarse), para contextualizar y dar comienzo a una serie de tareas a partir de producir, recolectar evidencia y registrar fenómenos similares utilizando materiales a disposición como globos, tubos de PVC, algodón, lana y piel, entre otros. <u>Actividad 2:</u> A partir de estructurar el conjunto de pruebas recabadas se solicita a los grupos que elaboren un modelo que permita explicar los fenómenos producidos a través de dibujos y gráficos con textos explicativos. <u>Actividad 3:</u> Se discuten los modelos, se identifican y analizan inconsistencias, se reformulan y se consensúa un modelo de materiales formados por partículas con cargas eléctricas negativas que se mueven. Se introduce la serie triboeléctrica para predecir cómo quedarán cargados algunos materiales por frotación y se trabaja con el caso de las "bolsas frotadas" y la producción de un modelo explicativo. <u>Actividad 4:</u> Para pensar cómo un material cargado puede atraer a un material sin cargar, se contextualiza a partir de una imagen en la cual Gilbert, en el siglo XVII (Figura 4), muestra a la reina Isabel I cómo un trozo de ámbar frotado con seda atrae cuerpos ligeros. Se vincula con el caso "gato-globo", y se estructura el modelo disciplinar a partir de considerar el reordenamiento de cargas dentro de los materiales. Se solicita a los grupos elegir uno de los fenómenos análogos producidos durante la indagación y elaborar un modelo que permita explicar a través de maquetas y textos. <u>Actividad 5:</u> Como instancia de aplicación se analiza la utilización de nanogeneradores triboeléctricos en la construcción de mascarillas para	<u>Actividad 6:</u> Se revisan las actividades de la formación disciplinar, los fenómenos que se explicaron y las formas de expresión de los modelos. Se entregan tres elementos: 1) una imagen del caso gato-globo, 2) un registro fotográfico de un modelo de esferas con chinchas producido por ellos, y 3) el texto: "los materiales tienen partículas con carga que se mueven", y se les solicita que asignen un nombre a cada elemento, que los relacionen en un esquema y que elaboren una primera explicación sobre qué es un modelo científico. <u>Actividad 7:</u> Se presenta la noción de modelo científico y se analiza el esquema de "modelo teórico de Giere". Se propone la lectura de un texto que conceptualiza la elaboración de modelos desde esta perspectiva y se solicita que retomen los esquemas de la actividad anterior para intervenirlos y discutir las ideas iniciales sobre "modelo científico". <u>Actividad 8:</u> Se retoma la imagen del experimento de Gilbert en el siglo XVII y se solicita a los grupos que elaboren una posible explicación del fenómeno que ofrecería Gilbert a la reina Isabel a partir de completar una viñeta. <u>Actividad 9:</u> Se propone la lectura de un texto que conceptualiza las explicaciones ofrecidas por Gilbert sobre el caso "ámbar-seda", enmarcadas en una concepción sobre la naturaleza de la materia constituida por efluvios, y se contrastan estas ideas con el contenido de las viñetas elaboradas. Se solicita a los grupos identificar diferencias entre los marcos explicativos que asumieron para Gilbert y los encontrados en el texto de referencia. <u>Actividad 10:</u> Se retoma el esquema de modelo teórico de Giere y se invita a completar en el pizarrón un esquema para el modelo de efluvios eléctricos de Gilbert, reconociendo las analogías utilizadas como forma de expresión.

monitorear la respiración de personas (Anexo 2). Se retoman aspectos del modelo disciplinar construido y los grupos elaboran gráficos y textos explicativos sobre funcionamiento del dispositivo.

Actividades para la reflexión didáctica

Actividad 11: A partir de preguntas, se orienta a identificar en la UD actividades que implicaron la construcción de modelos para explicar, y diferentes modos de averiguar, tales como producir fenómenos, recolectar y ordenar evidencias y establecer analogías. Se estructuran ideas sobre la ACE y se invita a reflexionar sobre las implicancias didácticas de estas propuestas de enseñanza en el Nivel Inicial.

Anexo 2: Texto que se utilizó en la Actividad 5 de aplicación

Monitorear la respiración de personas con problemas de salud, por ejemplo, en las internaciones hospitalarias o domiciliarias, es muy importante ya que permite evitar situaciones de riesgo. En el contexto de un proyecto de investigación, a un grupo de científicas y científicos se les ocurrió diseñar una mascarilla facial inteligente que funciona con un "nanogenerador triboeléctrico" (TENG). La energía mecánica que genera el flujo de aire durante la respiración es transformada por ese dispositivo TENG en señales eléctricas que son registradas por un sensor, y en el caso de no detectar señal suena una alarma. Los materiales que utilizaron en el diseño a escala nanométrica, es decir mil millones de veces más pequeños que un metro, fueron tejido de algodón y polietileno de alto peso molecular. ¿Por qué creen que utilizaron esos materiales? ¿cómo explicarían su funcionamiento y la posibilidad de que en cada inhalación-exhalación se genere una señal eléctrica? Imaginen que podemos observar a nivel nanométrico estos materiales y sus posibles interacciones y elaboren un modelo para explicar dentro de la figura. Realicen un texto explicativo que acompañe.