

Análisis de imágenes sobre inducción electrostática

Analysis of images about electrostatic induction

Carla Inés Maturano^{1*} y Carina Alejandra Rudolph¹

¹ Instituto de Investigaciones en Educación en las Ciencias Experimentales (IIECE). Facultad de Filosofía, Humanidades y Artes, Universidad Nacional de San Juan, Av. J. I. de La Roza 230 (oeste). Capital, CP 5400, San Juan, Argentina.

*E-mail: cmatur@ffha.unsj.edu.ar

Recibido el 30 de septiembre de 2022 | Aceptado el 24 de octubre de 2022

Resumen

En este trabajo presentamos una investigación de corte cualitativo que analiza imágenes sobre la inducción electrostática incluidas en libros de texto con el objetivo de desentrañar el codespliegue de los lenguajes verbal y visual para construir significados. El análisis conjuga lineamientos de la Lingüística Sistemico-Funcional y aportes de investigaciones anteriores en Didáctica de las Ciencias. La muestra incluye 16 imágenes de 12 libros de texto tanto de nivel secundario como universitario utilizados en Argentina. Examinamos aspectos visuales-verbales (tipo de representación, foco de la imagen, componentes verbales) y disciplinares (cargas, atracciones y repulsiones, movilidad de los electrones). Los resultados nos permiten identificar los fenómenos físicos representados, caracterizar las formas de representación y detectar algunas dificultades que potencialmente podrían obstaculizar el aprendizaje disciplinar. Concluimos afirmando que las imágenes no pueden comprenderse de modo intuitivo, sino que requieren de una interpretación detallada que profundice en los significados de las representaciones tanto visuales como verbales.

Palabras clave: Imágenes; Inducción electrostática; Libros de texto.

Abstract

In this paper, we present a qualitative research that analyzes images on electrostatic induction included in textbooks with the aim of unraveling the co-deployment of verbal and visual languages to construct meanings. The analysis combines guidelines from Systemic-Functional Linguistics and contributions from previous research in Science Didactics. The sample includes 16 images of 12 textbooks, both secondary and university level, used in Argentina. We examine visual-verbal aspects (type of representation, focus of the image, verbal components) and disciplinary aspects (charges, attractions and repulsions, mobility of electrons). The results allow us to identify the physical phenomena represented, characterize the forms of representation and detect some difficulties that could potentially hinder disciplinary learning. We conclude by stating that the images cannot be understood intuitively, but rather require a detailed interpretation that delves into the meanings of both the visual and verbal representations.

Keywords: Images; Electrostatic induction; Textbooks.

I. INTRODUCCIÓN

La organización del contenido en muchas disciplinas es inherentemente multimodal, ya que los significados técnicos se construyen mediante la combinación de recursos semióticos (Doran, 2021). Cuando los estudiantes leen un texto de ciencias se enfrentan con un discurso diferente del cotidiano que posee una complejidad desafiante, basada en su tecnicismo y en la agregación de significados que está dada por la presencia de ensambles de estructura múltiple de imágenes y texto (Unsworth, 2021). La interpretación de imágenes muy técnicas y abstractas no representaría una dificultad para un ojo experto, pero, para el estudiante la presencia de texto verbal en las imágenes jugaría un papel

fundamental en la interpretación del significado de las mismas (Jones, 2007). Del mismo modo, Ge *et al.* (2018), afirman que la presencia de texto verbal puede facilitar la comprensión de las imágenes, especialmente cuando estas fallan en representar una estructura completa de un concepto o fenómeno.

Algunos fenómenos presentan mayores dificultades de comprensión que otros. Así, por ejemplo, la inducción electrostática incluye temas de electricidad que son difíciles de aprender (Çiğrik y Ergül, 2009). Para comprender este proceso es necesario manejar muchos elementos de información que incluyen conceptualizaciones que deben considerarse simultáneamente, por lo que en los textos de Física se acude a imágenes que proporcionen un esquema visible sobre el cual se pueda razonar (Criado y Cañal, 2002).

El objeto de análisis de esta investigación se relaciona con las imágenes sobre inducción electrostática incluidas en libros de texto de Física. Nos preguntamos: ¿qué fenómenos se representan en los libros de texto al abordar la inducción electrostática?, ¿dónde está puesto el foco de las imágenes de este tema?, ¿qué tipo de representaciones se utilizan?, ¿cómo se articulan los lenguajes verbal y visual en las imágenes cuando se ensamblan para mostrar aspectos cruciales del fenómeno?, y ¿qué información se incluye mediante lenguaje verbal? Para responder estas preguntas, en este trabajo investigamos imágenes sobre este tema incluidas en libros de texto tanto de nivel secundario como universitario con el objetivo de desentrañar el codespliegue de los lenguajes verbal y visual para construir significados.

II. MARCO TEÓRICO

En la actualidad, las imágenes están adquiriendo un papel cada vez más central en los libros de texto por lo que cada página de un libro implica para los estudiantes diferentes desafíos para la interpretación del contenido ya que, a veces, la información expresada en diferentes lenguajes es complementaria pero otras veces es contradictoria entre sí (Danielsson y Selander, 2021). Cuando se utilizan estructuras ensambladas que conjugan lenguaje verbal y visual en una sola imagen, se profundiza sustancialmente la complejidad del discurso científico multimodal ya que los estudiantes necesitan sortear dificultades (Unsworth, 2021). Es por esto que los docentes no podemos dar por sentado que los estudiantes lograrán interpretar los diferentes lenguajes sin orientación, o que podrán ver sus posibilidades y limitaciones. Algunos estudios en el marco de la Lingüística Sistémico-Funcional han analizado los recursos de construcción de significados de las imágenes en libros de texto de ciencias, los cuales describimos a continuación.

Martin y Rose (2008) proponen analizar las imágenes de los textos de ciencias teniendo en cuenta tres opciones, a saber: (a) el foco de las imágenes, que puede estar en entidades (ya se clasificándolas o mostrando su composición), o en actividades (ya sea en una sola actividad simple o en una secuencia compleja); (b) las etiquetas que pueden estar explícitas o que pueden quedar implícitas para que el lector las infiera; y (c) el tipo de representación, que puede ser icónica (fotografías o dibujos realistas), indexical (dibujos de contorno, flechas, entre otros) o simbólica (esquemas, gráficos estadísticos, tablas, símbolos establecidos por una comunidad científica, entre otros). Estos autores destacan que las posibilidades que se presentan en las opciones (a) y (c) no son excluyentes entre sí, ya que en una misma imagen se pueden combinar varios significados ideacionales.

Por otro lado, Unsworth (2021) resalta que hay dos aspectos sobre los ensambles de imagen-lenguaje en el discurso científico sobre los que no se ha teorizado suficientemente. Estos son: (a) el rol de lo verbal dentro de las representaciones visuales científicas y (b) las imágenes de estructura múltiple que combinan estructuras simples tales como composición, clasificación, propiedad y actividad. En este sentido, propone abordar el análisis de las imágenes considerando el codespliegue de los lenguajes verbal y visual para construir ensambles de estructura múltiple a los que denomina infografías. A su vez, advierte que los componentes verbales pueden incluir anotaciones o cotexto. Las anotaciones se relacionan con partes específicas de la imagen, mientras que el cotexto se vincula con la imagen como un todo. Este último consiste en una leyenda o uno o más bloques de textos interpolados que se incluyen en la imagen.

La relevancia de las representaciones visuales a través de las cuales los libros de texto ilustran los procesos físicos se acentúa cuando las mismas se refieren a fenómenos de cierta complejidad. Este sería el caso de los fenómenos eléctricos que se abordan tanto en la escuela secundaria como en la universidad. La electricidad es un área de la Física que los estudiantes encuentran significativamente más difícil de comprender que otras áreas, puesto que implica relacionar fenómenos macroscópicos con procedimientos microscópicos (Stefanidou, Tsalapati, Ferentinou y Skordoulis, 2019). Uno de los fenómenos eléctricos que suele estudiarse en ambos niveles educativos es la inducción electrostática, un fenómeno básico pero cuya comprensión requiere establecer dichas relaciones, lo cual involucra algunos obstáculos de enseñanza y de aprendizaje. En ocasiones, dichos obstáculos se asocian a que ciertos efectos electrostáticos, como los que ocurren al acercar objetos, se originan en causas que no se perciben a través de los sentidos, sino que se detectan de forma indirecta (Criado y Cañal, 2002). Según estos autores, para comprender dicho proceso es necesario manejar muchos elementos de información que incluyen conceptualizaciones como:

(a) la existencia de igual número de cargas positivas y negativas en la materia neutra; (b) la producción de atracciones y repulsiones entre las cargas; (c) la existencia de una mayor o menor movilidad de las cargas en un material y (d) la posibilidad de separar cargas de un signo de las de otro. (Criado y Cañal, 2002, p. 47)

El estudio del abordaje de la inducción electrostática forma parte de un área de vacancia en las investigaciones educativas. En este sentido, Criado y García Carmona (2010) afirman que uno encuentra fácilmente estudios dedicados a los conceptos más abstractos de la electrostática, pero no abocados a nociones más elementales. Por esto, analizaron en futuros docentes las ideas intuitivas y el desarrollo de conceptos a partir de explicaciones acerca de interacciones electrostáticas básicas entre dos cuerpos cargados, y entre un cuerpo cargado y un cuerpo neutro, encontrando dificultades con las explicaciones de los fenómenos de inducción electrostática aun después de la enseñanza del tema, asociado a la creencia de que se trata de una atracción entre dos cuerpos cargados. Stefanidou *et al.* (2019) reportaron, también en futuros docentes, la idea equivocada de que los electrones se transfieren a través del aire al acercar el objeto cargado a un objeto neutro, considerando que se atraerían por tener cargas opuestas. Asimismo, hallaron otra dificultad asociada a que, cuando hay contacto, consideran una transferencia de protones que implicaría una transferencia de un núcleo a otro, lo cual encierra una dificultad conceptual específica ya que los protones no existen como partículas independientes en la materia ni es posible pensar aquí un cambio en el número atómico de los materiales intervinientes. Doğru (2021) también investigó con futuros docentes acerca de las dificultades básicas para explicar la electricidad estática, encontrando obstáculos significativos para conceptualizar los procesos microscópicos de carga por inducción que se relacionan con el rol que desempeñan los electrones en conductores y aislantes, y los diferentes mecanismos involucrados en la electrificación. Stefanidou *et al.* (2019) encontraron dificultades para explicar por qué se abrió el electroscopio cuando se acercó una barra de vidrio cargada, no atribuyendo la carga de las placas del electroscopio al movimiento de los electrones dentro de este, sino a una carga resultante de una transferencia de carga eléctrica de la varilla al disco de metal del electroscopio, expresando que, incluso desde la distancia, la varilla transferiría su carga al disco.

Sin embargo, no todos los obstáculos se relacionan con la complejidad propia de los contenidos o con la interacción de los estudiantes con esos contenidos sino con la presencia de deficiencias conceptuales en los materiales y textos empleados como recurso para el aprendizaje (Criado y Cañal, 2002). Así, por ejemplo, los estudiantes pueden interpretar etiquetas como "cuerpo cargado" o "cuerpo neutro" de manera diferente al significado científico aceptado (Criado y García-Carmona, 2010). Para el concepto de "cuerpo neutro", un estudiante podría considerar que no tiene cargas en vez de plantear un equilibrio de cargas positivas y negativas. Otra dificultad asociada se relaciona con pensar que un objeto cargado contiene solo electrones o protones (Doğru, 2021). En cuanto a las interacciones, el arraigo de las ideas de interacción entre cargas (cargas del mismo signo se repelen y de distinto signo se atraen) puede obstaculizar la diferenciación de la interacción entre cuerpos cargados y la interacción entre un objeto cargado y otro neutro en el que se separan las cargas en su presencia (Criado y Cañal, 2002).

III. METODOLOGÍA

Consideramos en esta investigación imágenes sobre la inducción electrostática incluidas en libros de texto tanto de nivel secundario como universitario utilizados en el contexto educativo argentino. La muestra de imágenes se limita a considerar aquellas referidas al proceso de inducción en conductores en que los electrones libres se mueven de una parte de un objeto a otra, en las cercanías de otro objeto cargado, quedando fuera del análisis que presentamos aquí las representaciones del proceso de polarización en aislantes. En base a esto, la muestra está constituida por 16 imágenes que se incluyen en 12 libros de texto, a saber: LT1: Albiano *et al.* (2016); LT2: Bauer y Westfall (2011); LT3: Bulwik y Rubinstein (2015); LT4: Edelsztein (2016); LT5: Giancoli (2009); LT6: Hewitt (2016); LT7: Resnick, Halliday y Krane (2007); LT8: Serway y Jewett (2015); LT9: Tipler y Mosca (2010); LT10: Tippens (2011); LT11: Wilson, Buffa y Lou (2007); LT12: Young y Freedman (2018).

Para analizar las imágenes utilizamos los lineamientos enunciados en el marco teórico, combinando consideraciones propuestas por los autores citados, tanto para categorizar aspectos visuales-verbales (foco de la imagen, tipo de representación, componentes verbales) como disciplinares (fenómeno físico representado). Así, las categorías diseñadas para evaluar los aspectos visuales-verbales son:

- Foco de la imagen: composición, clasificación, propiedad o actividad;
- Tipo de representación: icónica, indexical o simbólica;
- Componentes verbales: anotaciones o cotexto.

Las categorías diseñadas para evaluar los aspectos disciplinares se centran en identificar cuál es el fenómeno asociado a la inducción electrostática que se muestra y cómo se representan aquellos aspectos que en investigaciones

anteriores se han relacionado con dificultades conceptuales para su aprendizaje. Dichos aspectos se vinculan principalmente con:

- Cantidad de cargas en los cuerpos cargados y en los cuerpos neutros;
- Atracciones y repulsiones entre cargas;
- Movilidad de los electrones en los procesos involucrados.

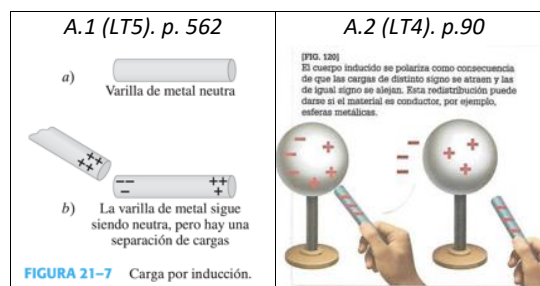
IV. RESULTADOS

En primer lugar, examinamos qué fenómenos se representan en los libros de texto al abordar la inducción electrostática. A partir del análisis que realizamos acerca del fenómeno representado en las imágenes de la muestra, podemos agruparlas en cuatro grupos según se refieran a: (A) redistribución de cargas en un conductor por inducción sin conexión a Tierra; (B) carga de un conductor por separación en cercanías del inductor; (C) carga de un conductor por inducción con conexión a Tierra; (D) carga de un electroscopio por inducción. En las tablas I, II, III y IV mostramos las imágenes para cada grupo.

Las imágenes del grupo A se muestran en la tabla I. En relación con los aspectos visuales-verbales, ambas son representaciones de estructura múltiple cuyo foco principal está en mostrar una actividad, la redistribución de cargas en un conductor al acercarle un objeto cargado, y también exhiben las propiedades de los objetos (indicadas a través de símbolos o de texto verbal) y su composición. En este grupo de imágenes se emplean representaciones icónicas de los objetos intervinientes (varillas, esferas, soportes, manos) y representaciones simbólicas para indicar las cargas (+, -). Ambas imágenes poseen cotexto. En A.1 consiste en un título que nombra el proceso. En relación con dicho título, detectamos que no corresponde al fenómeno representado puesto que no se trata de un proceso de carga por inducción. En A.2, solo se presenta cotexto para explicar parcialmente el fenómeno. Además, A.1 incluye anotaciones para indicar las etapas del proceso (a, b), las propiedades de la varilla (de metal, neutra) y la actividad (separación de cargas).

En cuanto a los aspectos disciplinares de las imágenes del grupo A, analizamos en primer lugar la cantidad de cargas en los cuerpos cargados y neutros. En ambas imágenes se representan los cuerpos cargados dibujando solo las cargas en exceso para los inductores que se acercan; en A.2, se presenta a la derecha una esfera cargada sin indicar cómo se llega a esta situación física. En ambos casos los cuerpos neutros se representan (A.1b y A.2 izquierda) poniendo en evidencia la separación de las cargas cuando ya se acercó el inductor mediante igual cantidad de signos positivos y negativos; sin embargo, notamos que en A.1a no se representan dichas cargas. Las atracciones y repulsiones entre cargas están indicadas adecuadamente. En cuanto a la movilidad de los electrones en los procesos involucrados, se representa en ambos casos en la separación de los símbolos + y - en partes opuestas de los conductores en A.1b y A.2 izquierda, pero detectamos una dificultad en A.2 derecha al dibujar electrones fuera de la esfera. Para indicar el aislamiento eléctrico de la varilla y la esfera, respectivamente, se usan diferentes recursos: en A.1 se representa la varilla sola sin estar apoyada ni suspendida y en A.2 se grafica un soporte que el lector debería suponer aislante.

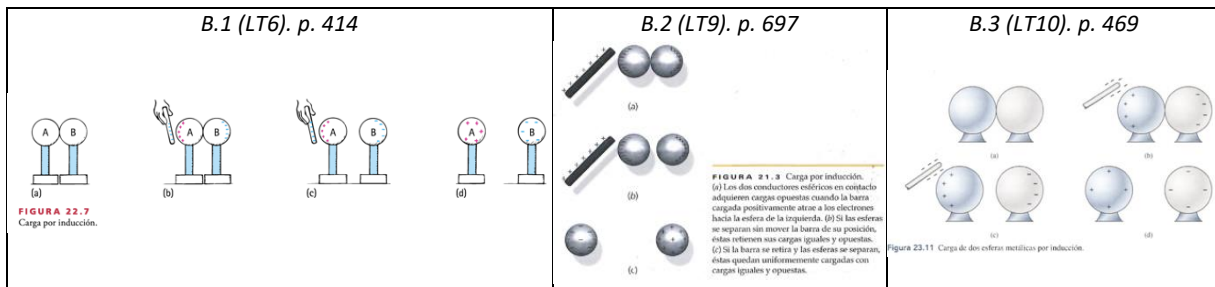
TABLA I. Imágenes referidas a la redistribución de cargas en un conductor por inducción sin conexión a Tierra (disponibles en <https://acortar.link/I9nuL6>).



Las imágenes del grupo B (tabla II) son representaciones de estructura múltiple cuyo foco principal está en mostrar una actividad, la carga de dos esferas metálicas por inducción, y también exhiben una propiedad de los objetos (la carga indicada a través de símbolos y de texto verbal en B.2) y su composición. También, en relación con los aspectos visuales-verbales, las imágenes son representaciones icónicas de los objetos intervinientes (esferas, varillas/barras inductoras, soportes en B.1 y B.3, manos en B.1) y representaciones simbólicas para indicar las cargas (+, -). Las tres imágenes presentan anotaciones que evidencian las etapas del proceso (letras a, b, etc.) y diferencian las esferas (A, B en B.1). También incluyen cotexto que consiste en un título que nombra el proceso, complementándose además en B.2 con una explicación del mismo. Dicha explicación incluye las propiedades de las esferas y de la barra que se acerca al mismo tiempo que especifica el procedimiento seguido para la carga por inducción.

En cuanto a los aspectos disciplinares de las imágenes del grupo B, notamos que los objetos neutros son representados inicialmente sin cargas en vez de mostrar igual cantidad de cargas positivas y negativas en B.1 y B.3, y que en los objetos cargados se dibujan solo las cargas en exceso en todos los casos. En B.2 y B.3 las cargas en exceso de las varillas/barras que se acercan se representan mediante símbolos que se ubican fuera de estas. Para los cuerpos esféricos finalmente cargados, en B.1 las cargas no se representan uniformemente distribuidas, pero sí se lo hace en B.2 y B.3. Los símbolos utilizados muestran clara y adecuadamente en las imágenes las atracciones y repulsiones entre cargas. En cuanto a la movilidad de los electrones, se pone en evidencia al graficar la separación de cargas cuando se acerca el inductor estando ambas esferas en contacto. El contacto eléctrico inicial de las esferas mientras están en las cercanías del inductor y la separación al final de la secuencia se evidencia convenientemente analizando la distancia entre las esferas en las imágenes. Para indicar el aislamiento eléctrico de las esferas se representan con soportes que deberían suponerse aislantes en B.1 y B.3, mientras que en B.2 se muestran las esferas solas sin estar apoyadas ni suspendidas.

TABLA II. Imágenes referidas a la carga de un conductor por separación en cercanías del inductor (disponibles en <https://acortar.link/I9nuL6>).



En relación con los aspectos visuales-verbales, las imágenes del grupo C (tabla III) son representaciones de estructura múltiple cuyo foco principal está en mostrar una actividad (el proceso de carga de un objeto por inducción con conexión a Tierra), propiedades de los objetos (carga y material indicados a través de símbolos y de texto verbal como por ejemplo, “carga neta cero”, “varilla de cobre”, “esfera metálica neutra”) y detalles de su composición (por ejemplo, “soporte aislante”). Todas las imágenes son representaciones icónicas de los objetos intervinientes (varillas, esferas, alambre de conexión a Tierra, entre otros), representaciones indexicales (flechas que indican el movimiento de las cargas en la conexión a Tierra) y representaciones simbólicas (+, -, símbolo de conexión a Tierra). En cuanto a los componentes verbales, todas las imágenes tienen cotexto y anotaciones. El cotexto, en todas las imágenes a excepción de C.6, incluye un título que se refiere al fenómeno representado (por ejemplo, en C.4 “Electrización por inducción”), acompañado en algunos casos de una explicación que detalla el proceso (C.2, C.3, C.5, C.6, C.7). Las anotaciones hacen referencia a: las etapas del proceso (usando letras a, b, c, etc.); propiedades (“carga neta es +”); objetos (“alambre conector”, “Tierra”); símbolos (“símbolo de conexión a Tierra”), eventos (“click!” para indicar contacto); explicaciones de cada etapa del fenómeno (“Al acercar una varilla cargada, los electrones en ella se redistribuyen”). En todos los casos las anotaciones están vinculadas al texto mediante líneas o flechas que hacen referencia a partes puntuales o se ubican espacialmente asociadas con una parte de la imagen.

En cuanto a los aspectos disciplinares de las imágenes del grupo C, analizamos la cantidad de cargas en los cuerpos cargados y en los cuerpos neutros. En las imágenes que muestran los cuerpos neutros iniciales antes de acercar el inductor, en ciertos casos no se dibujan cargas (C1, C8) mientras que en otros se grafica igual cantidad de símbolos positivos y negativos (C2, C5). Para los inductores que se acercan, se dibujan solo las cargas en exceso en todos los casos, las cuales se ubican dentro de los mismos con excepción de C7 en la cual se ubican fuera del inductor. Una dificultad a destacar en relación con las cargas tiene que ver con lo expresado en una anotación en C4 donde se indica “acercamos una varilla de vidrio cargada negativamente” (LT1). Para representar el cuerpo cargado finalmente por inducción, en la mayoría de las imágenes se dibujan solo las cargas en exceso (C1, C2, C3, C4, C6, C7, C8) y, en un solo caso, mayor cantidad de cargas de un signo en relación con las de signo opuesto (C5). Cuando el cuerpo queda cargado finalmente por inducción la mayoría de las imágenes pone en evidencia una distribución uniforme de las cargas en el conductor, pero en un caso se dibuja una asimetría en la distribución final de las cargas (C4) que no solo no se explica sino que se contradice con lo expresado en la anotación “se distribuyen de manera uniforme”. Cabe destacar que en una imagen se cambia, sin fundamento alguno, la cantidad de cargas en exceso (de signo contrario al del inductor) que se dibujan desde el momento en que el cuerpo está conectado a Tierra hasta que se quita dicha conexión (C1). En relación con las atracciones y repulsiones entre cargas, notamos que los símbolos utilizados las muestran de manera apropiada. Solo en C2 se indica en la imagen la atracción final entre el cuerpo cargado por inducción y el inductor. Al analizar la movilidad de los electrones en los procesos involucrados, detectamos que se pone de manifiesto en la

separación de cargas al acercar el inductor (C.2b, C.4a, C.5b, C.6 izquierda, C.7a, C8b). Destacamos que en un caso comienza la secuencia de imágenes con el cuerpo conductor conectado a Tierra antes de acercar el inductor (C1), mientras que en la mayoría se inicia con el conductor neutro aislado, al cual se le acerca el inductor y recién ahí se conecta a Tierra (C2, C4, C5, C6, C7, C8), y en el caso restante no se indica el orden puesto que la primera imagen muestra el cuerpo conectado a Tierra en cercanías del inductor (C3). Notamos que para indicar la cantidad de electrones que fluyen hacia/desde Tierra durante la conexión, a veces se dibujan varios símbolos (-) correspondientes a las cargas negativas que se descargan según el ejemplo considerado (C2, C3, C4, C5, C8) y en una imagen se grafica de manera genérica una sola carga negativa al lado de la flecha que indica el sentido del desplazamiento (C1). En C6 se dibujan incorrectamente varias cargas positivas que fluirían por el alambre en la descarga, indicadas con el signo (+). En ciertos casos estos signos se dibujan en el interior de los conductores de descarga (alambre o mano en C4, C5), en otros se lo hace fuera de ellos (C1, C2, C3, C6, C8) y en C7 no se dibujan. Tal como se indicó al analizar los elementos indexicales de las imágenes, en ocasiones se usa una flecha para mostrar el sentido de movimiento de las cargas durante la conexión a Tierra (C1, C2, C3, C4, C5), mientras que otras veces no se indica (C6, C7) o se indica en la anotación correspondiente (C8). Solo en un caso se grafican en la Tierra las cargas que se transfirieron a través de la descarga (C8). Para indicar el aislamiento eléctrico de los conductores que se cargan por inducción, se representan los mismos apoyados en soportes que deberían suponerse aislantes (C.6, C.8), suspendidos de cuerdas (C.2, C.3, C4), o se muestran solos sin estar apoyados ni suspendidos (C1, C5, C7).

TABLA III. Imágenes referidas a la carga de un conductor por inducción con conexión a Tierra (disponibles en <https://acortar.link/l9nuL6>).

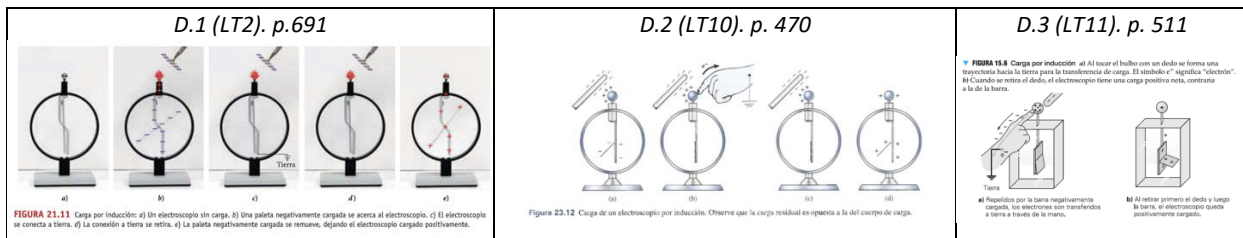
<p>C.1 (LT5). p. 562</p> <p>FIGURA 21-8 Carga inducida en un objeto conectado a tierra.</p>	<p>C.2 (LT6). p. 414</p> <p>FIGURA 22-8 Etapas de inducción de carga por puesta a tierra. (a) La carga neta sobre la esfera metálica es cero. (b) La redistribución de carga en inducir sobre la esfera por la proximidad de la barra cargada. La carga neta sobre la esfera todavía es cero. (c) Tocar el lado negativo de la esfera retira electrones por contacto. (d) Retirar el dedo a la esfera con carga positiva. (e) La esfera se atrae con más fuerza hacia la barra negativa y, cuando la toca, ocurre la carga por contacto. (f) La esfera negativa se repelle por la barra que todavía tiene algo de carga negativa.</p>	<p>C.3 (LT7). p. 372</p> <p>FIGURA 23-9 Carga por inducción. Los electrones fluyen de la esfera para neutralizar la carga positiva en el extremo opuesto de la varilla de cobre. (a) Carga resultante en el cobre cuando se quita el cable.</p>
<p>C.4 (LT1). p. 86</p> <p>FIGURA 21-10 Electrificación por inducción. Supongamos que tenemos una esfera con carga positiva. Si acercamos una varilla de vidrio cargada negativamente (la llamaremos inductor), se produce una redistribución de las cargas sobre la esfera: las cargas positivas se acercan al inductor, que la fuerza de atracción electrostática—mientras que las negativas se alejan—que repulsa electrostática.</p>	<p>C.5 (LT8). p. 592</p> <p>FIGURA 23-3 Carga de un objeto metálico mediante inducción. (a) Esfera metálica neutra. (b) Una varilla de hule cargada se coloca cerca de la esfera. (c) La esfera es conectada a tierra. (d) La conexión a tierra es removida. (e) La varilla es removida.</p>	<p>C.6 (LT3). p. 194</p> <p>Si durante la inducción se conecta el cuerpo inducido con la Tierra, al desconectarse quedará cargado.</p>
<p>C.7 (LT9). p. 698</p> <p>FIGURA 21-4 Inducción por conexión a tierra. (a) Una carga libre sobre una esfera conductora se polariza mediante la barra cargada positivamente, que atrae las cargas negativas de la esfera. (b) Si la esfera se conecta a un conductor muy grande, tal como la Tierra, por medio de un alambre, los electrones del suelo neutralizan la carga positiva del lado más alejado de la barra y la esfera queda negativamente cargada. (c) La carga negativa permanece si el cable se desconecta antes de separar la barra. (d) Al quitar la barra, la esfera queda cargada negativamente de forma uniforme.</p>	<p>C.8 (LT12). p. 688</p> <p>21.7 Carga de una esfera metálica por inducción.</p> <p>(a) Esfera metálica sin carga. (b) La carga negativa en la varilla repela a los electrones, lo que crea zonas de carga inducida negativa y positiva. (c) El alambre permite que los electrones acumulados (carga negativa inducida) fluyan hacia la tierra. (d) Se quita el conductor; ahora, la esfera tiene sólo una región con deficiencia de electrones, con carga positiva. (e) Se quita la varilla; los electrones se reacomodan por sí solos, y toda la esfera tiene una deficiencia de electrones (carga positiva neta).</p>	

Las imágenes del grupo D (tabla IV) son representaciones de estructura múltiple centradas en mostrar una actividad (la carga de un electroscopio por inducción), una propiedad de los objetos (la carga indicada a través de símbolos y de texto verbal) y su composición (“bulbo”, “paleta”). También, en relación con los aspectos visuales-verbales, las imágenes son representaciones icónicas de los objetos intervinientes (electroscopio, varillas/barras/electróforo usados como inductores, manos en D.2 y D.3), indexicales (flecha para indicar el sentido en que se desplazan los electrones durante la conexión a Tierra en D.2 y D.3) y simbólicas (para indicar las cargas +, -, y la descarga a Tierra). Las tres imágenes incluyen cotexto que consiste en un título que nombra el proceso, complementándose además en D.1 y D.3 con una explicación del mismo. También, presentan anotaciones que evidencian las etapas del proceso (letras a, b, etc.) y en D.3 se añade además una breve explicación en cada etapa.

En cuanto a los aspectos disciplinares de las imágenes del grupo D, analizamos en primer lugar la cantidad de cargas en los cuerpos neutros y en los cuerpos cargados. Notamos que solo en D.1a se grafica el electroscopio inicialmente neutro con las hojuelas juntas, pero sin representar las cargas. En cercanías del inductor, en D.1b y D.2a se grafica igual

cantidad de cargas positivas y negativas en los extremos de sendos electroscopios. Para representar los cuerpos cargados, se dibujan solo las cargas en exceso, ya sea en el interior del electroscopio (D.1e) o de los inductores (D1b, c y d; D.3a), fuera de estos (D.2) o algunas afuera y otras adentro (D.3b). Las atracciones y repulsiones entre cargas se ponen en evidencia especialmente al dibujar las hojuelas del electroscopio separadas cuando tienen cargas del mismo signo en todas las imágenes. La movilidad de los electrones en los procesos involucrados en la electrificación se pone en evidencia en las tres imágenes al distribuirse adecuadamente las cargas en el electroscopio. Para mostrar la transferencia de electrones durante el contacto eléctrico, en D.1 solo figura la conexión a Tierra de manera simbólica sin explicitar qué ocurre con las cargas ni en la imagen ni en el cotexto; sin embargo, en D.2 y D.3 se muestra que el movimiento de los electrones se da desde el electroscopio a la Tierra a través de la mano. Después de retirar la conexión a Tierra, en todos los casos se pone en evidencia de manera gráfica la redistribución de cargas. Detectamos una dificultad en D.2 donde no coincide la cantidad de cargas en exceso que se muestran en el electroscopio cargado en las etapas (c) y (d).

TABLA IV. Imágenes referidas a carga de un electroscopio por inducción (disponibles en <https://acortar.link/I9nuL6>).



V. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Hemos logrado responder las preguntas de investigación identificando que las imágenes de los libros de texto al tratar la inducción electrostática representan cuatro fenómenos: la redistribución de cargas en un conductor por inducción sin conexión a Tierra, la carga por separación de un conductor en cercanías del inductor, la carga de un conductor por inducción con conexión a Tierra y, como caso particular, la carga de un electroscopio por inducción. Encontramos que el foco de las representaciones visuales está en la mayoría de los casos en actividades complejas asociadas al comportamiento de las cargas eléctricas en dichos procesos. Estas actividades se representan generalmente mediante una serie de dos o más etapas en las que, en algunos casos, se incluye información acerca de la composición y propiedades de los objetos intervinientes. Para mostrar esto, el tipo de representación es especialmente icónica para mostrar los objetos y simbólica para representar las cargas y su comportamiento. Solo reportamos el uso de recursos indexicales en forma de flechas que muestran el movimiento de las cargas en la conexión a Tierra. La información que se incluye en lenguaje verbal aparece en forma de cotexto y anotaciones utilizados para identificar el fenómeno, explicar las etapas del proceso y caracterizar algunas partes de los dispositivos.

El análisis de los aspectos visuales-verbales de las imágenes nos ha permitido profundizar en el conocimiento del ensamblaje de los diversos elementos que se usan para comunicar los contenidos disciplinares. De este modo, hemos logrado caracterizar cómo se ponen en evidencia aspectos cruciales del fenómeno de inducción electrostática. Notamos que las imágenes conjugan elementos que exigen relacionar aspectos macroscópicos y microscópicos para su comprensión. Algunos modos de representación podrían estar reafirmando dificultades ya mencionadas en el marco teórico (Criado y Cañal, 2002; Criado y García-Carmona, 2010; Stefanidou *et al.*, 2019; Doğru, 2021). A continuación, exponemos los resultados más relevantes. Para representar cuerpos neutros en algunos casos no se dibujan cargas. Para representar cuerpos cargados en la mayoría de los casos solo se dibujan las cargas en exceso. En ocasiones, tanto para los cuerpos inducidos como para las varillas o barras que se acercan, las cargas se dibujan fuera de estas. Otro aspecto que se destaca como dificultad es la representación de la distribución final asimétrica de las cargas en exceso en conductores esféricos cargados. En todas las imágenes se muestran adecuadamente las atracciones y repulsiones entre cargas que se pone de manifiesto en la separación de cargas mostrada con los signos + y - que se produce en un conductor al acercar el inductor, o en los movimientos de acercamiento o alejamiento en caso de cuerpos con posibilidad de desplazarse cuando son atraídos o rechazados por otro. En la mayoría de las imágenes se evidencia o puede suponerse que son los electrones los que se desplazan en los conductores, a excepción de una imagen que indica erróneamente un traspaso de cargas positivas entre el conductor y la Tierra. Al graficar cargas fuera de los conductores en varias oportunidades podría estarse reforzando la idea errónea detectada en otras investigaciones en relación con la transferencia de cargas entre el inductor y el inducido. Las descargas a Tierra se representan de diversos modos que constituirían alternativas válidas para graficar el proceso. La presencia de soportes y cuerdas aislantes para indicar el aislamiento eléctrico se muestra en algunos casos y en otros debe ser inferida por el lector.

VI. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto la necesidad de examinar cuidadosamente la forma en que se combinan los diferentes lenguajes en las imágenes de los libros de texto de Física. Los hallazgos expuestos en la sección anterior indican que los ensambles de estructura múltiple que conjugan imágenes y texto no pueden comprenderse de modo intuitivo, sino que requieren de una interpretación detallada que profundice en los significados de las representaciones tanto visuales como verbales involucradas.

En estudios anteriores antes reportados, se han detectado dificultades de los estudiantes en relación con ciertos aspectos de la inducción electrostática. El análisis realizado en esta investigación pone en evidencia, como aporte original, que muchas de esas dificultades se pueden asociar de manera directa con aspectos de las representaciones que resultan confusos e, incluso en ciertas ocasiones, erróneos. Como consecuencia de este resultado, se hace necesario que el abordaje de las imágenes en las clases de Física no se deje librado a la mera interpretación de lo observado/leído, sino que se instrumente un proceso de profundización de significados que debería ser guiado por el docente disciplinar.

La investigación realizada con imágenes sobre inducción electrostática podría extenderse en estudios futuros a representaciones sobre otros fenómenos físicos para indagar si los modos de comunicación pueden estar favoreciendo o dificultando la comprensión. Las categorías de análisis utilizadas en este trabajo podrían servir como base en ese sentido.

REFERENCIAS

- Balbiano *et al.* (2016). *Física y Química 2. Serie Santillana en Línea*. Buenos Aires: Santillana.
- Bauer, W. y Westfall, G. (2011). *Física para Ingeniería y Ciencias con Física Moderna. Vol. 2*. México: Mc Graw Hill.
- Bulwik, M. y Rubinstein, J. (2015). *Física y Química I. Serie Nuevas Miradas*. Buenos Aires: Tinta Fresca.
- Çıgırık, E. y Ergül, R. (2009). The investigation of the effect of simulation based teaching on the student achievement and attitude in electrostatic induction. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 1(1), 2470-2474. doi: 10.1016/j.sbspro.2009.01.434
- Criado, A. y Cañal, P. (2002). Obstáculos para aprender conceptos elementales de electrostática y propuestas educativas. *Investigación en la Escuela*, (47), 53-63.
- Criado, A. y García-Carmona, A. (2010). Prospective teachers' difficulties in interpreting elementary phenomena of electrostatic interactions: indicators of the status of their intuitive ideas. *International Journal of Science Education*, 32(6), 769-805. doi: 10.1080/09500690902792393
- Danielsson, K. y Selander, S. (2021). *Multimodal texts in disciplinary education. A comprehensive framework*. Cham: Springer. doi: 10.1007/978-3-030-63960-0
- Doğru, S. (2021). Conceptual Difficulties Encountered by Science Teacher Candidates in Static Electricity. *European Journal of Science and Technology*, 31 (1), 957-967. doi: 10.31590/ejosat.913290
- Doran, Y. J. (2021). Multimodal Knowledge: Using Language, Mathematics and Images in Physics. En K. Maton, J. R. Martin y Y. J. Doran (eds), *Teaching Science: Language, Knowledge, Pedagogy* (pp. 162-184). London: Routledge.
- Edelsztejn, V. (2016). *Fisicoquímica 2. Serie Llaves*. Buenos Aires: Estación Mandioca.
- Ge, Y. P., Unsworth, L., Wang, K. H. y Chang, H. P. (2018). Image design for enhancing science learning: Helping students build taxonomic meanings with salient tree structure images. En K. S. Tang y K. Danielsson (Eds.), *Global Developments in Literacy Research for Science Education* (pp. 237-258). Cham: Springer. doi: 10.1007/978-3-319-69197-8
- Giancoli, D.C. (2009). *Física para Ciencias e Ingeniería. Vol. 2. 4ª edición*. México: Pearson Educación.
- Hewitt, P. (2016). *Física conceptual. 12ª Edición*. México: Pearson Educación de México S.A. de C.V.

- Jones, J. (2007). Multiliteracies for Academic Purposes: multimodality in textbook and computer-based learning materials in Science at university. En: R. Whittaker, M. O'Donnel y A. McCabe (Eds.) *Advances in Language and Education* (pp. 103-124). London: Continuum. doi: 10.5040/9781474212045
- Martin, J. R. y Rose, D. (2008). *Genre relations: Mapping culture*. London: Equinox.
- Resnick, R., Halliday, D. y Krane, K. (2007) *Física. Vol. 2. 5° Edición*. México: Grupo Editorial Patria.
- Serway, R. y Jewett, J. (2015). *Física para Ciencias e Ingeniería con Física Moderna. Vol. 2. 9° edición*. México: Cengage Learning Editores.
- Stefanidou, C. G., Tsalapati, K. D., Ferentinou, A. M. y Skordoulis, C. D. (2019). Conceptual Difficulties Pre-Service Primary Teachers Have with Static Electricity. *Journal of Baltic Science Education*, 18(2), 300-313. doi: 10.33225/jbse/19.18.300
- Tipler, P. y Mosca, G. (2010). *Física 2: para la ciencia y la tecnología. Electricidad y magnetismo/Luz. Vol. 2. 6° Edición*. Barcelona: Reverté.
- Tippens, P. (2011). *Física, conceptos y aplicaciones. 7° edición revisada*. México: Mc Graw Hill Educación.
- Unsworth, I. (2021). High School Science Infographics: Multimodal Meaning Complexes in Composite Image-Language Ensembles. *Pensamiento Educativo. Revista de Investigación Educativa Latinoamericana*, 58(2), 1-18. doi: 10.7764/PEL.58.2.2021.9
- Wilson, J., Buffa, A. y Lou, B. (2007). *Física. 6° Edición*. México: Pearson Education.
- Young, H. y Freedman, R. (2018). *Física Universitaria con Física Moderna. Vol. 2. 14° Edición*. México: Pearson.