

Imágenes asociadas al concepto de corriente eléctrica en libros de texto argentinos de educación secundaria



ISSN 1870-9095

Maturano Carla Inés, Guzmán Franco Ariel, Rudolph Carina Alejandra

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

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

(Recibido el 21 de diciembre de 2023, aceptado el 5 de abril de 2024)

Resumen

En la enseñanza de la Física, cuando se presenta el concepto de corriente eléctrica en los libros de texto se incluyen imágenes que intentan ilustrar el movimiento de los portadores de carga. El objeto de estudio de esta investigación se relaciona con las imágenes que se emplean al definir el concepto de corriente eléctrica en libros de texto argentinos. El objetivo fue analizar dichas imágenes a la luz de aportes teóricos de la Lingüística Sistémico-Funcional y relacionar sus características con potenciales dificultades de comprensión y aprendizaje ya investigadas en el campo de la Didáctica de las Ciencias. Las imágenes se han examinado considerando aspectos visuales-verbales (foco, nivel y tipo de representación, componentes verbales) y aspectos disciplinares (objeto, características, causa, ecuación y condiciones del fenómeno representado). Los resultados muestran que algunas imágenes exponen entidades o actividades usando en muchas ocasiones recursos poco adecuados o cuestionables desde el conocimiento disciplinar. Por esto, requerirían de un abordaje específico y cuidadosamente planeado en las clases para evitar los problemas de aprendizaje más comunes asociados a este concepto.

Palabras clave: imágenes, corriente eléctrica, libros de texto.

Abstract

In the teaching of Physics, when the concept of electric current is presented in textbooks, images that attempt to illustrate the movement of charge carriers are included. The object of study of this research is related to the images that are used when defining the concept of electric current in Argentine textbooks. The objective was to analyze these images in the light of theoretical contributions from Systemic-Functional Linguistics and relate their characteristics to potential comprehension and learning difficulties already investigated in the field of Science Teaching. The images have been examined considering visual-verbal aspects (focus, level and type of representation, verbal components) and disciplinary aspects (object, characteristics, cause, equation and conditions of the represented phenomenon). The results show that some images expose entities or activities, often using inappropriate or questionable resources from disciplinary knowledge. For this reason, they would require a specific and carefully planned approach in classes to avoid the most common learning problems associated with this concept.

Keywords: images, electric current, textbooks.

I. INTRODUCCIÓN

Los textos científicos son cruciales para el aprendizaje. Danielsson y Selander [1] consideran que el significado del concepto de texto ha cambiado y actualmente se utiliza un concepto extendido que incluye no sólo la palabra escrita sino también una variedad de recursos comunicativos que forman una entidad conjunta a la que se denomina texto multimodal. Es decir, los textos están compuestos por una variedad de sistemas de signos o recursos semióticos, tales como palabras, diagramas, gráficos, fotografías o varios tipos de símbolos que transmiten significados de maneras específicas, por lo que cada texto ofrece diferentes desafíos para su interpretación.

En el ámbito de la enseñanza y el aprendizaje de la Física, se suman a los desafíos propios de la comprensión lectora en general y del texto científico en particular, retos específicos que se vinculan con ciertos contenidos disciplinares que son considerados especialmente complejos. Un ejemplo de esto es el concepto de corriente eléctrica, ya que implica la comprensión de conceptos abstractos como, por ejemplo, el flujo de electrones a través de un circuito que es un fenómeno invisible, que debe ser comprendido por los estudiantes sin observar la situación real [2].

Cuando los conceptos físicos son presentados en los libros de texto, los autores seleccionan el enfoque a utilizar, los aspectos a enfatizar, la mejor manera de explicar y de

representar, qué palabras usar, entre otras características que influyen en el aprendizaje y que, si presentaran errores, omisiones, simplificaciones, inconsistencias u otras dificultades, deberían ser claramente explicados por el docente [3].

De la conjunción de estos aspectos surge la necesidad de indagar acerca de las imágenes presentadas en textos multimodales de Física sobre la corriente eléctrica. El objetivo de la investigación que presentamos en este artículo es analizar las imágenes que se incluyen en libros de texto argentinos de Educación Secundaria Básica cuando se define el concepto de corriente eléctrica a fin de relacionar sus características con potenciales dificultades de comprensión.

II. MARCO TEÓRICO

Tal como ocurre con otras ciencias, adquirir conocimientos en Física requiere de una orquestación de representaciones en múltiples modos [4]. Así, la naturaleza multimodal de los conocimientos de la Física se ve claramente reflejada en la densidad de imágenes en los libros de texto. En este sentido, el aprendizaje disciplinar implica competencias en la negociación a través de los modos visuales y verbales, los cuales están vinculados espacial, simbólica y temporalmente en formas que no son intuitivas. Investigaciones realizadas desde la Lingüística Sistémico-Funcional sobre los recursos de construcción de significados en las imágenes podrían ayudar en su análisis para desentrañar tal complejidad.

A continuación, presentamos algunos conceptos desarrollados dentro de esta teoría lingüística. Unsworth [5] resalta que, por lo general, las imágenes en el discurso científico suelen presentarse en ensambles compuestos visuales-verbales que denomina ensambles multimodales o infografías. Según este autor, hay dos aspectos de dichos ensambles que deberían ser analizados: el rol que cumple el lenguaje verbal y el significado representado. En cuanto a los componentes verbales, las imágenes pueden incluir anotaciones o cotexto. Las anotaciones se relacionan con partes específicas de la imagen (por ejemplo, etiquetas), mientras que el cotexto se vincula con la imagen como un todo (por ejemplo, leyendas o bloques de textos interpolados). En relación con el significado que pueden representar los ensambles multimodales, Doran y Martin [6] proponen que el foco puede estar en: la composición (muestra relaciones parte-todo entre elementos), la clasificación (expone relaciones entre elementos en términos de clase y subclase), alguna propiedad (caracteriza entidades o actividades) y/o alguna actividad (construye fenómenos dinámicamente).

Martin y Rose [7] recomiendan analizar las imágenes de los textos de ciencias teniendo en cuenta tres aspectos, a saber: el foco de las imágenes que puede estar en entidades (ya sea clasificándolas o mostrando su composición), o en actividades (ya sea en una sola actividad simple o en una secuencia compleja); las etiquetas que pueden estar explícitas o que pueden quedar implícitas para que el lector

las infiera; y 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). Finalmente, otro aspecto que proponen analizar Gilbert y Treagust [8] es el nivel de representación al que aluden las imágenes, el cual puede ser macroscópico, submicroscópico y/o simbólico. Una imagen es macroscópica cuando muestra los fenómenos tal como los podemos percibir con los sentidos. El nivel de representación submicroscópico exhibe modelos para explicar fenómenos o representar entidades que son demasiado pequeñas para ser vistas usando microscopios ópticos. El nivel simbólico refiere a la utilización de símbolos, fórmulas y ecuaciones que han sido consensuadas en la comunidad científica para comunicar acerca de los fenómenos en un nivel abstracto.

El uso de los ensambles multimodales que incluyen gráficos, símbolos, diagramas y texto, es fundamental para la enseñanza y el aprendizaje en las aulas de Física. Aunque diferentes estudios han proporcionado evidencia de su impacto positivo, aún no se ha hecho una descripción general completa necesaria para identificar lagunas en la base de conocimientos y proponer investigaciones futuras sobre el uso de las representaciones múltiples [9].

El aprendizaje de los estudiantes acerca de los circuitos eléctricos simples es un tema ampliamente estudiado en el ámbito de la educación en Física, pero aún persisten gran cantidad de malos entendidos [10]. En este tema, estudios pioneros en el ámbito de la enseñanza de la Física han relacionado las dificultades de los estudiantes para comprender el comportamiento de una corriente eléctrica con su presentación en los libros de texto [11], encontrando que suele exponerse un modelo convencional que representa la corriente eléctrica continua asociada al movimiento de partículas cargadas, generalmente electrones, bajo la influencia de una diferencia de potencial entre los extremos de un cable, el cual es un modelo cuya comprensión requiere que los estudiantes tengan un conocimiento, al menos rudimentario, de la estructura atómica. En investigaciones más recientes, también se han reportado dificultades de los estudiantes que se refieren a fallas en la comprensión de la naturaleza de la corriente eléctrica, las cuales se relacionan con un punto de vista ingenuo de su mecanismo microscópico. Algunas de esas dificultades se deben a que no reconocen que el flujo de carga eléctrica requiere de un circuito cerrado o a que consideran que la corriente se atenúa en un circuito [10].

Otro de los aspectos cruciales asociados en muchas investigaciones con las dificultades de comprensión se relaciona con las definiciones inadecuadas de conceptos científicos [12]. Para analizar la forma en que se presentan las definiciones de conceptos físicos en los libros de texto, los autores citados han propuesto cinco elementos conceptuales a considerar:

- Objeto/sistema: la definición debe especificar un objeto ideal, un objeto real o un sistema idealizado.
- Naturaleza/características: la definición debe determinar la naturaleza o significado de un

término especificando qué es o describiendo las posibles características del concepto.

- Causa/efecto: la definición puede especificar una causa o un efecto, aunque a veces algunos científicos prefieren incluir efectos en vez de causas.
- Expresión/ecuación matemática: la definición se asocia a una ecuación ya sea que esta exprese una perspectiva macroscópica o microscópica de dicho concepto.
- Condición/marco de referencia: la definición de un concepto científico asume ciertas condiciones de validez o físicas que podrían ser referidas a su medición, ambientales o de aplicabilidad, como por ejemplo un marco de referencia.

Específicamente, para el concepto de corriente eléctrica que consideramos en este trabajo, Wong y Chu [13] analizaron en libros de texto norteamericanos las definiciones escritas en forma de "una tasa de flujo de carga" y diagramas que ilustran esa definición dentro de la misma sección de un libro de texto, los cuales se asocian o se etiquetan en vinculación con la corriente eléctrica. Lograron caracterizar los diferentes aspectos de la definición del siguiente modo:

- Objeto/sistema: los objetos son los portadores de carga y se alude a los mismos en términos de carga eléctrica, carga neta, electrones o cargas positivas.
- Naturaleza/características: para indicar esto se refiere a la tasa de flujo de carga eléctrica, al movimiento de la carga o flujo de electrones y a la conservación de la carga eléctrica.
- Causa/efecto: las causas se asocian a una diferencia de potencial o a un campo eléctrico.
- Expresión/ecuación matemática: la corriente se define en términos de dq/dt , $\Delta q/\Delta t$, q/t o a través de gráficas que involucran la corriente, la carga y el tiempo.
- Condición/marco de referencia: las condiciones se asocian a un área/punto del circuito, a un circuito cerrado o completo y al medio de conducción, como por ejemplo un metal, conductor o alambre.

Dado que una definición presenta el significado de una palabra, en este estudio del concepto físico de corriente eléctrica, cualquier problema asociado con la definición podría obstaculizar el aprendizaje de los estudiantes. Como las investigaciones sobre los problemas en las definiciones de los conceptos físicos son limitadas [14], surge la necesidad de ahondar en el análisis de su presentación en los libros de texto para relacionar sus deficiencias e imprecisiones con las potenciales dificultades de comprensión y aprendizaje.

III. METODOLOGÍA

En esta investigación examinamos imágenes sobre corriente eléctrica que se emplean en libros de texto para acompañar la definición y caracterización de este concepto físico. Consideramos libros de texto de 2° año del ciclo básico de

la educación secundaria editados recientemente en Argentina en los que se aborda el carácter eléctrico de la materia, incluyendo el concepto de corriente eléctrica. Listamos a continuación los libros seleccionados: LT1: [15]; LT2: [16]; LT3: [17]; LT4: [18]; LT5: [19]; LT6: [20]; LT7: [21]; LT8: [22]; LT9: [23]. Estos libros corresponden a las editoriales más utilizadas en este contexto [24].

La muestra de imágenes se limita a considerar aquellas en que se representa el concepto de corriente eléctrica en el capítulo en el que el mismo se define. Acotamos el análisis a las que muestran el movimiento de partículas cargadas asociado a la corriente. Teniendo en cuenta estas consideraciones, dicha muestra está constituida por diecinueve imágenes obtenidas de ocho libros de texto, ya que en LT9 [23] no se representa gráficamente el concepto de corriente eléctrica. En las Figuras 1 a 19 se incluyen en pequeña escala las imágenes analizadas para cada uno de los libros de texto.

Para examinar las imágenes tuvimos en cuenta los aportes teóricos detallados en la sección anterior. Exponemos a continuación las preguntas que diseñamos para estructurar el análisis en dos aspectos: visuales-verbales y disciplinares.

A. Aspectos visuales-verbales

- ¿Cuál es el foco de la representación? Como la muestra de imágenes se restringe a aquellas que representan el movimiento de partículas cargadas asociado a una corriente eléctrica, todas se refieren a una actividad –la corriente eléctrica entendida como cualquier movimiento de carga de una región a otra-. Sin embargo, en algunos casos, podría incluirse en las representaciones información relativa a la composición, clasificación o propiedad de algunas entidades o actividades asociadas.
- ¿Cuál es el nivel de representación? Las imágenes pueden representar información en diversos niveles: macroscópico, submicroscópico y simbólico [8].
- ¿Cuál es el tipo de representación? Según el grado de semejanza con la realidad, la imagen puede contener elementos de tipo icónico, indexical y/o simbólico [7].
- ¿Qué componentes verbales incluye? Teniendo en cuenta la correspondencia entre los textos verbales y los visuales, puede producirse una relación con una parte de la representación –anotación- o con el conjunto –cotexto- [5].

B. Aspectos disciplinares

- ¿Qué objeto involucra el fenómeno representado? Considerando los portadores representados en cada imagen, distinguimos partículas con carga positiva, partículas con carga negativa, electrones, huecos, y analizamos la cantidad y la forma geométrica utilizada en cada caso.
- ¿Qué características tiene este fenómeno? Para describir la naturaleza del fenómeno examinamos para

los portadores representados en cada imagen: el elemento o sección analizada (elemento de volumen, sección transversal o toda la muestra), los indicadores de movimiento (vectores, rastros o trayectoria), en qué dirección se mueven (lineal, aleatoria en zigzag debido a las colisiones, aleatoria en cualquier dirección, en todas direcciones), qué interacciones suceden entre ellos (colisiones con la red y entre sí), si se conserva o no la carga y si se indica o no el sentido convencional de la corriente.

- ¿Por qué ocurre el fenómeno? Las representaciones pueden mostrar la causa que produce el movimiento de los portadores en el conductor (campo eléctrico o diferencia de potencial).
- ¿Qué relaciones matemáticas involucra el fenómeno? Dichas relaciones pueden darse a través de ecuaciones o gráficas cartesianas incluidas en las imágenes.

- ¿Bajo qué condiciones ocurre este fenómeno? Teniendo en cuenta las condiciones representadas distinguimos: el material por el que circula la corriente (metal, conductor, entre otros), la composición o estado de agregación de dicho material, y si el circuito es cerrado o no.

IV. RESULTADOS

En esta sección incluimos el análisis de cada una de las imágenes de la muestra teniendo en cuenta las categorías antes señaladas.

A. Aspectos visuales-verbales

En primer lugar, examinamos los aspectos visuales-verbales. Exponemos los resultados obtenidos en la Tabla I.

TABLA I. Aspectos visuales-verbales de las imágenes de la muestra.

		i.1	i.2	i.3	i.4	i.5	i.6	i.7	i.8	i.9	i.10	i.11	i.12	i.13	i.14	i.15	i.16	i.17	i.18	i.19
Foco	Composición	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Clasificación									✓										
	Propiedad	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓		
	Actividad	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Nivel	Macroscópico	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
	Submicroscópico	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Simbólico	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tipo	Icónico	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
	Indexical	✓		✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Simbólico	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Componentes verbales	Anotaciones	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
	Cotexto	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓	✓		✓		✓	

Tal como anticipamos en la sección Metodología, analizamos en primer lugar el foco de las imágenes. Dado que la muestra de imágenes se restringe a aquellas que representan el movimiento de partículas cargadas asociado a una corriente eléctrica, todas representan una actividad. Dicha actividad se refiere a la corriente eléctrica entendida como cualquier movimiento de carga de una región a otra. Además, en todas se representa una entidad consistente en: (a) una parte del circuito eléctrico por donde circula la corriente (Imágenes 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 17, 18 y 19) o (b) un circuito eléctrico cerrado (Imágenes 13 y 16). En relación con dichas entidades, en

todos los casos se presenta su composición, ya sea graficando las partículas cargadas que se mueven en las diferentes partes del circuito o los componentes de los circuitos completos. Sólo una imagen (Imagen 9) presenta una clasificación de la corriente en corriente continua y alterna. Algunas imágenes aluden mediante símbolos o en las anotaciones y/o cotextos a ciertas propiedades de las entidades bajo análisis como, por ejemplo:

- Entidades cargadas: “+” o “-” (Imágenes 1, 3, 4, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 15, 17).
- Entidades cargadas en movimiento: “electrones libres” (Imagen 1, 2, 8), “iones positivos” o “iones negativos”

(Imagen 3), “electrones en movimiento” (Imagen 8), “cargas libres” (Imagen 13).

- Medio de conducción: “metal sólido” (Imagen 8), “líquidos o soluciones conductoras” (Imagen 8), “buenos conductores” (Imagen 8), “cable conductor” (Imagen 13), “conductor metálico” (Imágenes 16, 17), “conductor electrolítico” (Imagen 17).
- Campo eléctrico: “campo eléctrico externo” (Imagen 2), “campo generado por la fuente” (Imagen 13).
- Diferencias de potencial entre dos puntos: “+/-” (Imágenes 2, 3, 5, 9, 13).
- Dispositivos o condiciones experimentales: “pantalla fluorescente” (Imagen 3).

En otros casos se hace referencia a propiedades de una actividad representada en las imágenes:

- Propiedades del movimiento de las partículas cargadas: “en todas direcciones” o “en un mismo sentido” (Imagen 2), “ordenado” (Imagen 3), “lento” (Imagen 6), “con facilidad” (Imagen 8).
- Propiedades del sentido de la corriente convencional: “hacia la dirección opuesta a la del avance de los electrones” (Imagen 5).
- Propiedades de la intensidad de la corriente que circula por el conductor: “igual en todo el cable” (Imagen 7), “siempre la misma a lo largo del tiempo” (Imagen 9), “cambia con el tiempo” (Imagen 9).

En segundo lugar, analizamos el nivel y tipo de representación de las imágenes, distinguiendo los niveles macroscópico, submicroscópico y simbólico, y los tipos icónico, indexical y simbólico. Exponemos a continuación qué entidades y actividades se representan en cada uno de dichos niveles y tipos:

- Nivel macroscópico – imágenes de tipo icónicas: ubicamos aquí los medios por los cuales circula la corriente tales como los segmentos de un alambre conductor o de un cable (Imágenes 1, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 13, 14, 16, 17 y 19); celdas electrolíticas o vasos de precipitados que contienen una solución conductora (Imágenes 3, 8 y 17). También visualizamos algunos objetos a través de los cuales circulan cargas como: tubo de rayos catódicos (Imagen 3), pila (Imágenes 9, 11, 12 y 16), enchufe domiciliario (Imagen 9), fuente de corriente continua (Imagen 13), tubo fluorescente (Imagen 15) y lamparita (Imagen 16).
- Nivel submicroscópico – imágenes de tipo simbólico: incluimos acá las imágenes que indican las cargas portadoras ya sean positivas o negativas (Imágenes 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 y 19), la red cristalina y los átomos que constituyen los conductores (Imágenes 1, 2, 3 y 8).
- Nivel simbólico – imágenes de tipo indexical: agrupamos acá las flechas o rastros que muestran el movimiento de los portadores (Imágenes 1, 3, 4, 5, 7, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 y 19), la flecha que indica el sentido de la corriente (Imágenes 5, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 17, 18 y 19), la trayectoria seguida por los portadores en un conductor (Imagen 6), y flechas que indican el intercambio de energía entre el sistema y el medio (Imagen 13).

- Nivel simbólico – imágenes de tipo simbólica: incluimos acá los símbolos que representan las cargas de los portadores (Imágenes 1, 3, 4, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 17 y 19), los signos asociados al potencial eléctrico o al campo eléctrico (Imágenes 2, 5, 12 y 13), la sección transversal del conductor que es atravesada por los portadores (Imágenes 4, 10, 14 y 18) y las gráficas cartesianas que representan $I=f(t)$ (Imagen 9) o $V=f(t)$ (Imágenes 11 y 12).

En tercer lugar, analizamos los componentes verbales, tales como anotaciones y cotextos que complementan las imágenes, y se utilizan para relacionar partes específicas o bloques de texto incluidos en la representación.

- Anotaciones: Ubicamos aquí los elementos verbales que señalan cuáles son los portadores (Imágenes 1, 2, 3, 4, 5 y 8), cómo es el movimiento de los portadores (Imágenes 2, 3 y 6), cuál es o qué características tiene el medio a través del cual se mueven los portadores (Imágenes 3, 4, 8, 13, 17 y 19), cómo está formado el dispositivo o circuito que se muestra (Imágenes 3 y 13), cuáles son las características del campo eléctrico o la diferencia de potencial que causa la corriente (Imágenes 2 y 3), cuál es la sección transversal o sector del conductor considerados para evaluar la corriente (Imágenes 4, 7, 14 y 19), cómo se define la corriente (Imagen 7), cuál es el sentido de la corriente (Imágenes 5, 10, 11, 12, 14 y 17), cuáles son las variables representadas en un gráfico cartesiano (Imágenes 9, 11 y 12), y de qué forma se intercambia energía con el entorno (Imagen 19).
- Cotexto: Algunas representaciones incluyen un breve texto que se relaciona con la imagen en su totalidad. Su contenido apunta a precisar cuáles son los portadores y/o caracterizar su movimiento (Imágenes 1, 3, 6, 8, 9), enunciar la conservación de la carga (Imagen 7), indicar el medio de conducción (Imágenes 5, 8, 16), definir partes de los objetos representados (Imagen 3), definir la corriente (Imágenes 4, 14, 16, 18), caracterizar el sentido convencional de la corriente (Imagen 5), especificar la causa de la corriente (Imagen 13), indicar si es continua o alterna y las fuentes asociadas en cada caso (Imagen 9).

B. Aspectos disciplinares

Detallamos a continuación el análisis de los aspectos disciplinares que surgen al examinar las imágenes a la luz de las preguntas antes planteadas.



FIGURA 1. Imagen 1 del libro LT1 [15] (p. 95) que muestra el movimiento de los electrones libres en los conductores cuando circula una corriente eléctrica.

En la imagen 1, los objetos que se mueven son los electrones libres, los cuales se representan como círculos de diferente color que el de los constituyentes de la red, aunque de tamaño comparable, y se indica su carga mediante un signo “-”. En relación con las características del fenómeno, detectamos que la imagen sugiere que los electrones libres se mueven en la superficie de un cierto elemento de volumen, y no hay indicios de movimiento de los portadores en el interior del conductor representado mediante esferas que se han coloreado de color opaco. Los portadores parecen moverse en todas direcciones en trayectorias curvilíneas, según se interpreta de las flechas curvas. No se representan las colisiones de los portadores con la red, aunque sí puede suponerse la conservación de la carga en la imagen ya que en el mismo instante en que ingresan por la izquierda dos electrones, otros dos abandonan la sección transversal del conductor por la derecha. No se muestra el sentido convencional de la corriente. No se indica la causa por la cual se produce este fenómeno, ni se explicitan relaciones matemáticas involucradas. Las condiciones bajo las cuales ocurre podrían asociarse a una parte de un circuito (abierto) consistente en un conductor sólido, cuyo material no se especifica, compuesto por un arreglo de esferas aparentemente fijas representadas con una densidad y tamaño que dificulta imaginar el movimiento de los electrones.

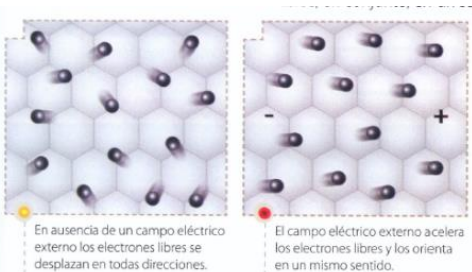


FIGURA 2. Imagen 2 del libro LT2 [16] (p. 82) que representa el movimiento de los electrones en ausencia de un campo eléctrico y en presencia de éste.

En la imagen 2, los objetos que se mueven son los electrones libres tal como se indica en el contexto, representados mediante esferas de gran tamaño y de color oscuro. Las características del fenómeno se asocian a portadores que se mueven sobre la superficie de una red cristalina, lo cual se indica mediante rastros, y lo hacen en todas direcciones en la imagen izquierda y, al someterse a un campo eléctrico, se mueven en forma unidireccional en la imagen derecha. De las imágenes no se puede deducir el elemento o sección considerados para evaluar la corriente. Cabe destacar que no se representan las colisiones de los portadores con la red, tampoco hay indicios de la conservación de la carga, ni se marca el sentido convencional de la corriente. La causa del fenómeno se explicita cuando el movimiento se direcciona hacia la derecha debido a un campo eléctrico del cual se indica su orientación mediante signos. No se incluyen las relaciones

matemáticas involucradas. La imagen no especifica las condiciones del material, aunque representa su composición mediante una unión de hexágonos que intentaría mostrar la red cristalina del sólido. Se destaca que se limita a graficar un sector del circuito.

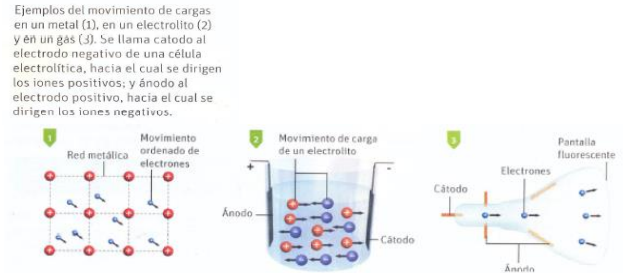


FIGURA 3. Imagen 3 del libro LT3 [17] (p. 121) que ejemplifica el movimiento de cargas en diferentes medios.

En la imagen 3, los objetos que se mueven en el metal (1) son los electrones representados con círculos muy pequeños de color azul con el signo correspondiente; en el electrolito (2) son los iones con carga positiva o negativa representados con grandes círculos de color rojo o azul, respectivamente; mientras que en el gas (3) los que se mueven son los electrones indicados con diminutos círculos de color azul. La imagen sugiere las siguientes características del fenómeno: en el metal, las partículas negativas se mueven en una red compuesta por cargas positivas y se desplazan en forma ordenada en igual sentido; en el electrolito, las partículas cargadas se mueven en la solución desplazándose todas en una misma dirección pero en sentidos opuestos acercándose al cátodo y alejándose las negativas; y en el gas, los electrones se mueven a través de un tubo hacia una pantalla fluorescente en una misma dirección y sentido para luego dispersarse según la configuración del campo eléctrico. En todos los casos se representa la dirección del movimiento mediante flechas considerando la corriente en toda la muestra. En ninguno de los tres casos hay evidencias de las colisiones de las cargas entre ellas o con la red, no hay indicios de conservación de la carga, ni se muestra el sentido convencional de la corriente. En el metal no se representa la causa del movimiento; para el electrolito y para el gas se grafican una placa con carga negativa (cátodo) y una o más placas con carga positiva (ánodo) que condicionan el desplazamiento de los portadores. No se explicitan las relaciones matemáticas entre las magnitudes intervinientes. Las condiciones del medio en el que se desplazan las partículas se dibujan en detalle para el metal mediante un arreglo de partículas con carga positiva que intenta representar en el plano una red metálica; sin embargo, tanto en el electrolito como en el gas no se indica la composición del medio, sino que se usa un sombreado de color para mostrar el volumen de líquido en (2) y el gas que ocupa todo el aparato en (3). En ninguno de los casos se grafica el circuito completo.

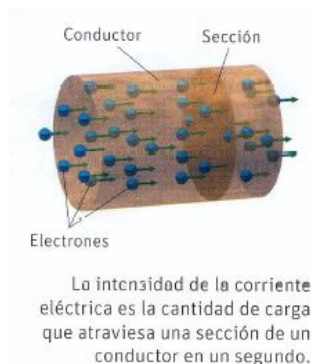


FIGURA 4. Imagen 4 del libro LT3 [17] (p. 122) que ilustra las cargas que atraviesan una sección de un conductor.

En la imagen 4, los objetos que se mueven a través del conductor son electrones dibujados como esferas de color azul cuya carga se indica con un signo negativo en su interior. En cuanto a sus características, la imagen sugiere mediante flechas que los portadores se desplazan de forma lineal y en igual sentido a través de una sección transversal indicada con otra tonalidad en el interior del conductor representado como un elemento de volumen cilíndrico. No se indican las colisiones de las cargas con el material ni entre sí, por lo que las partículas parecen desplazarse sin obstáculos; en cuanto a la conservación de la carga, no hay indicios claros de su cumplimiento ni tampoco se muestra el sentido convencional de la corriente. No se explicita la causa que produce el fenómeno, ni las relaciones matemáticas involucradas. Las condiciones del fenómeno se refieren a un material conductor, sin especificar su tipo ni estado de agregación, ni se indica el circuito completo.

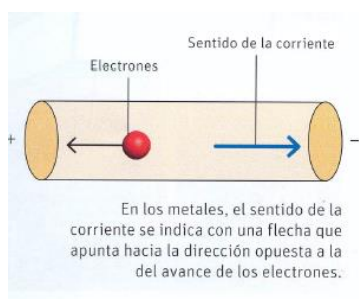


FIGURA 5. Imagen 5 del libro LT3 [17] (p. 122) que indica el sentido convencional de la corriente eléctrica.

En la imagen 5, el objeto que se mueve es un solo electrón representado como una esfera roja que posee una anotación que indica "electrones" (expresado en plural aun cuando se muestra una sola partícula). En cuanto a las características, la imagen sugiere mediante una flecha negra que el electrón se mueve en forma lineal en el interior de un metal graficado con forma de cilindro. Con una flecha azul se indica el sentido convencional de la corriente. No se representan colisiones del portador con el material. Al ser una única carga dentro del conductor, no se puede evaluar si se cumple la conservación de la carga. La causa que explicaría el fenómeno se asocia a una diferencia de potencial entre los extremos del cilindro indicada mediante

los signos "+" y "-". No se explicitan las relaciones matemáticas involucradas. Las condiciones en las que se muestra el fenómeno se asocian a un metal, como indica el cotexto, sin especificar el tipo o estado de agregación; además no se grafica el circuito completo.



FIGURA 6. Imagen 6 del libro LT3 [17] (p. 123) que describe el avance de los electrones en un conductor.

En la imagen 6, los objetos que se mueven no están representados visualmente, pero en el cotexto se especifica que son los electrones. En cuanto a las características del fenómeno, se podría interpretar que los portadores se mueven en el cable hacia la derecha según indica la flecha de avance, describiendo un zigzag debido a las colisiones; sin embargo, no se representan los obstáculos que dan lugar a estas colisiones. Tampoco hay indicios del cumplimiento de la conservación de la carga ni se especifica el sentido convencional de la corriente. La causa del fenómeno no se explicita. No se mencionan las relaciones matemáticas involucradas. Las condiciones en que ocurre el fenómeno están dadas por un cable conductor sólido de cobre, lo cual podría inferirse del color de los alambres que constituyen el cable, tal como se muestra mediante un zoom en la imagen. La estructura del cobre a nivel submicroscópico no se pone en evidencia. La imagen no muestra un circuito cerrado.

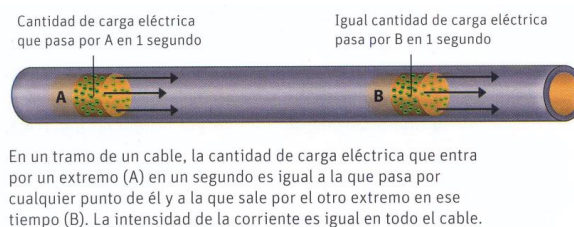


FIGURA 7. Imagen 7 del libro LT3 [17] (p. 123) que representa la carga eléctrica que circula en un conductor.

En la imagen 7, los objetos que se mueven son cargas eléctricas negativas, ilustradas mediante círculos de color verde con un signo negativo en el centro. Las características se representan en la imagen focalizando en dos elementos de volumen A y B. Se indica mediante vectores paralelos de igual longitud que los portadores se mueven en el interior del conductor de manera lineal y en un mismo sentido. No hay indicios de las colisiones de las partículas con la red; sin embargo, se representa de forma clara la conservación de la carga, en donde la cantidad de portadores que atraviesa la sección A es la misma que pasa a través de la sección B, como se expresa en las anotaciones y en el cotexto donde también se indica que la corriente es

constante, aunque no se muestra su sentido convencional. La causa del fenómeno no se representa, ni se explicitan las relaciones matemáticas involucradas. Las condiciones en cuanto al material no se especifican, aunque podría deducirse del color interno que se trataría de un cable de cobre cuya estructura a nivel submicroscópico no se muestra. No se grafica el circuito completo.

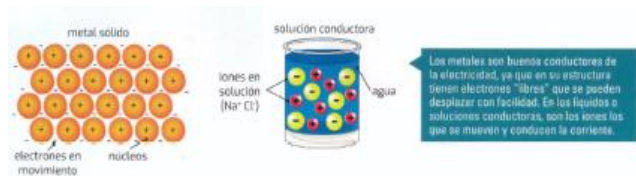


FIGURA 8. Imagen 8 del libro LT4 [18] (p. 106) que muestra los portadores de corriente en los metales y en los líquidos o soluciones conductoras.

En la imagen 8 se presentan dos situaciones físicas. La imagen izquierda indica en una anotación que los objetos que se mueven son los electrones, simbolizados solamente con un signo negativo; mientras que en la imagen derecha son los iones representados con círculos de color verde para los aniones y de color rojo para los cationes. Las características señalan que, en la imagen izquierda, los electrones se mueven entre un conjunto ordenado de cargas positivas indicadas con grandes círculos de color naranja a los que se denomina núcleos; no se señalan la dirección y el sentido del movimiento de los portadores, aunque se indica en el cotexto que se mueven; no hay indicios de colisión con la red ni se evidencia la conservación de la carga. La imagen derecha sugiere que los iones se mueven en una solución conductora. No se representan dirección y sentido del movimiento para los iones, ni colisiones entre ellos o con el recipiente. La causa del fenómeno no está indicada en ambos casos. No se explicitan las relaciones matemáticas involucradas. Las condiciones de los conductores se asocian en la imagen izquierda a un metal sólido representando una disposición fija de núcleos y cargas negativas libres, y en la imagen derecha a una solución conductora compuesta por agua e iones de sodio y cloro. Ninguna de las dos situaciones muestra un circuito cerrado.

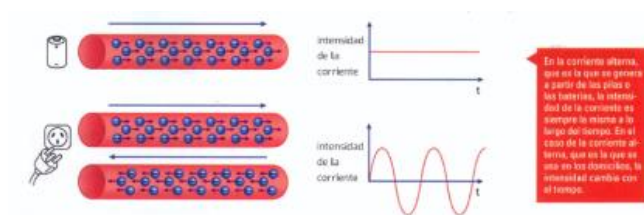


FIGURA 9. Imagen 9 del libro LT4 [18] (p. 108) que compara el movimiento de los portadores y el comportamiento de la intensidad de corriente en función del tiempo para diferentes tipos de corriente.

En la imagen 9, los objetos que se mueven están indicados como partículas con carga negativa (sin especificar de qué entidades se trata) representadas con círculos de color azul con un signo negativo. Las características representadas marcan mediante flechas que las partículas se mueven a través de un elemento de volumen de un conductor. En esta imagen se ejemplifican situaciones de corriente continua y alterna, y en ambas el movimiento de los portadores es lineal sin interacciones entre ellos, hacia la derecha para el primer caso y en ambos sentidos para el segundo; en donde, además, se establece de manera errónea que el sentido convencional de la corriente es igual al sentido de movimiento de las cargas. En el cotexto se detecta un error puesto que se denomina corriente alterna a ambos tipos de corriente presentados. No se muestran las colisiones de los portadores con el material, ni la conservación de la carga. Las causas que producen el fenómeno en cada caso se asocian a una pila con polos definidos para corriente continua y a un tomacorriente de red domiciliaria para la alterna. Las relaciones matemáticas involucradas se muestran en gráficas cartesianas para cada una de las situaciones representando el comportamiento de la intensidad de corriente en función del tiempo, tanto de su valor como de su sentido. Las condiciones en que ocurre el fenómeno se refieren a un cilindro en el que se mueven las cargas, sin especificar su composición, estado de agregación, ni indicar si forma o no parte de un circuito cerrado.

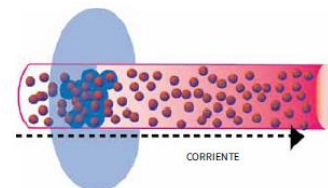


FIGURA 10. Imagen 10 del libro LT5 [19] (p. 128) que representa una corriente eléctrica.

En la imagen 10, los objetos que se mueven son partículas dentro del conductor de las cuales no se explicita ni el tipo de portador ni el signo de la carga. Las mismas están representadas como esferas de color rojo degradado hacia el color azul. Las características del fenómeno que se muestran no incluyen el movimiento de las partículas individuales. Se indica una sección transversal de gran tamaño que es cruzada en parte por los portadores, señalando con un color más oscuro el área atravesada por cada uno. No se representan las colisiones de los portadores con la red ni entre ellos, ni se destacan indicios claros de la conservación de la carga. Mediante una flecha externa de trazo discontinuo, se señala la dirección de la corriente convencional. No se representa en la imagen la causa del fenómeno ni se explicitan las relaciones matemáticas involucradas. Las condiciones en que se muestra el fenómeno refieren a un segmento de conductor cilíndrico, sin especificar su estado de agregación ni composición, en el que los portadores están distribuidos aleatoriamente. Tampoco se grafica el circuito completo.

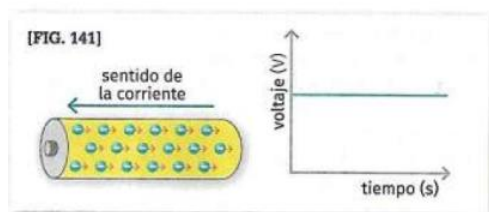


FIGURA 11. Imagen 11 del libro LT6 [20] (p. 104) que muestra el sentido de la corriente eléctrica y el comportamiento del voltaje en función del tiempo para corriente continua.

En la imagen 11, los objetos que se mueven son partículas con carga negativa dentro del conductor representadas con círculos de color verde con el signo en su interior. No se explicita a cuál tipo de partícula se asocian los portadores. Las características indican que estos se mueven a través de un elemento de volumen (que se asemeja a una pila en la imagen) en un mismo sentido y en dirección lineal. El sentido convencional de la corriente se muestra contrario al sentido de movimiento de los electrones. No se representan las colisiones de los portadores con la red. No hay indicios de la conservación de la carga. La causa del fenómeno está representada como una diferencia de potencial constante que se muestra en la gráfica cartesiana del voltaje en función del tiempo. Dicha gráfica pone en evidencia las relaciones matemáticas involucradas, resultando un valor de V constante en el tiempo. Las condiciones del fenómeno no se representan claramente ya que no se indica la composición del material en que se mueven las cargas ni su estado de agregación. El elemento graficado no forma parte de un circuito cerrado.

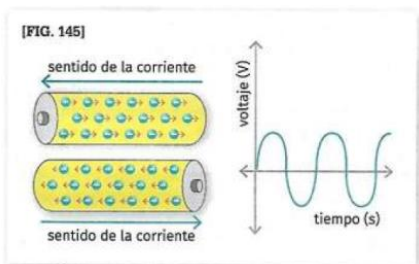


FIGURA 12. Imagen 12 del libro LT6 [20] (p. 105) que muestra el sentido de la corriente eléctrica y el comportamiento del voltaje en función del tiempo para corriente alterna.

En la imagen 12, los objetos y condiciones analizados son los mismos que en la imagen 11. La causa del fenómeno en este caso está representada como una diferencia de potencial variable que se muestra en la gráfica cartesiana del voltaje en función del tiempo. Dicha gráfica pone en evidencia las relaciones matemáticas involucradas, resultando un valor de V que varía sinusoidalmente en el tiempo. Las características que se grafican en esta imagen se especifican mediante dos elementos de volumen para indicar el cambio de sentido de la corriente y la variación en el voltaje cuando esta es alterna.

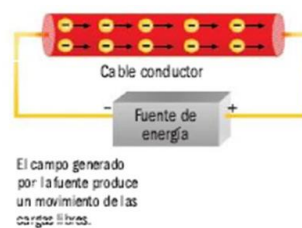


FIGURA 13. Imagen 13 del libro LT7 [21] (p. 76) que muestra la circulación de corriente eléctrica en un circuito cerrado.

En la imagen 13, los objetos son partículas con carga negativa que se mueven en el conductor, indicadas en el cotexto como cargas libres y representadas con círculos de color amarillo con un signo negativo en su interior. Las características del movimiento de los portadores, representadas mediante flechas, muestran que se mueven a través de un elemento de volumen de manera lineal en la misma dirección y sentido. No se evidencian las colisiones de los portadores con la red, el sentido convencional de la corriente, ni hay indicios de conservación de la carga. La causa del fenómeno puede asociarse a la diferencia de potencial (representada con los signos “+” y “-”) que se indican en los bornes de la batería. No se explicitan las relaciones matemáticas involucradas. Las condiciones del material en que se muestra el fenómeno representan un cable conductor, pero no se evidencia cómo está compuesto ni su estado de agregación. En este caso se dibuja el circuito completo.

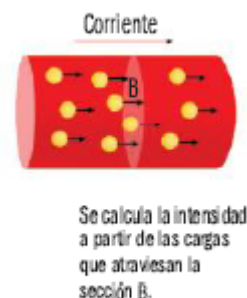


FIGURA 14. Imagen 14 del libro LT7 [21] (p. 76) que representa las cargas que atraviesan una sección de un conductor e indica el sentido de la corriente.

En la imagen 14, los objetos que se mueven están representados mediante círculos de color amarillo que se asociarían a partículas cuyo tipo y carga no se indica. Las características muestran mediante flechas que los objetos se mueven a través del interior de un elemento de volumen y atraviesan un área transversal desplazándose en forma lineal en la misma dirección y sentido. El sentido de la corriente convencional se grafica coincidente con el del movimiento de las cargas. No se representan las colisiones de los portadores con la red ni hay indicios de la conservación de la carga en la imagen. Las causas del fenómeno no están indicadas, ni se explicitan las relaciones matemáticas involucradas. Las condiciones del material

muestran un conductor cilíndrico, sin especificar su composición ni estado de agregación. No se representa el circuito cerrado.

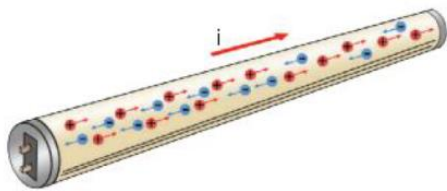


FIGURA 15. Imagen 15 del libro LT7 [21] (p. 77) que muestra el movimiento de las cargas positivas y negativas en un conductor.

En la imagen 15, los objetos que se mueven son partículas, algunas con carga negativa y otras positiva, dentro del conductor, representadas con círculos de color azul y rojo, respectivamente. Las características del fenómeno indican que los portadores se mueven a través del interior de un tubo (cilindro) en la misma dirección, aunque las cargas positivas y negativas se desplazan en distintos sentidos representados mediante flechas. El sentido convencional de la corriente coincide con el del movimiento de los portadores positivos. No se muestran las colisiones de los portadores con la red, ni la conservación de la carga. No está representada la causa del fenómeno, ni se explicitan las relaciones matemáticas involucradas. Las condiciones en que se muestra el fenómeno pueden asociarse a un tubo fluorescente, sin especificar cómo está compuesto pudiéndose inferir que su estado de agregación sería el estado de plasma. El elemento graficado no forma parte de un circuito cerrado.

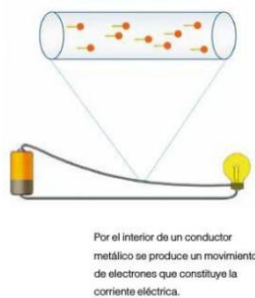


FIGURA 16. Imagen 16 del libro LT8 [22] (p. 219) que representa el movimiento de los electrones en una sección de un conductor en un circuito cerrado.

En la imagen 16, se representa un circuito compuesto por un foco y una pila unidos por cables conductores. Se hace un acercamiento de una sección del cable que muestra los objetos que se mueven. En el contexto se indica que estos son electrones y se representan mediante círculos de color anaranjado. Las características del fenómeno indicarían que los portadores de un elemento de volumen se mueven en forma lineal en la misma dirección y sentido. Se grafica un segmento unido a cada círculo cuyo significado no es claro. No se representan las colisiones de los portadores con la red ni hay indicios de la conservación de la carga en la imagen. Tampoco se indica el sentido convencional de la corriente. La causa del fenómeno se asocia a la diferencia de potencial proporcionada por una pila. No se explicitan las

relaciones matemáticas involucradas. Las condiciones en que se muestra el fenómeno se relacionan con un cable conductor metálico, que junto a un foco y una pila forman un circuito cerrado.

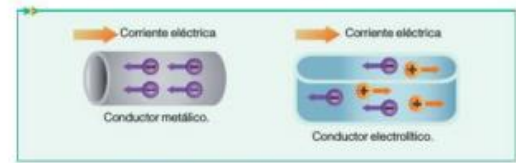


FIGURA 17. Imagen 17 del libro LT8 [22] (p. 220) que indica el sentido de la corriente convencional en un conductor metálico y en un conductor electrolítico.

En la imagen 17 se muestran dos fenómenos. Los objetos que se mueven en la imagen izquierda son partículas con carga negativa y en la imagen derecha son partículas con cargas de diferentes signos (positivas y negativas), representadas con círculos de color anaranjado y violeta, respectivamente. Las características del fenómeno muestran mediante flechas que los portadores se mueven en un elemento de volumen de un conductor, diferenciando que en el conductor metálico las cargas se mueven en la misma dirección y sentido, mientras que, en el conductor electrolítico, las cargas positivas y negativas tienen igual dirección y distinto sentido. No hay representaciones de las colisiones de los portadores con la red ni de la conservación de la carga en la imagen. No se muestra el sentido convencional de la corriente. La causa del fenómeno no está indicada. No se explicitan las relaciones matemáticas involucradas. Las condiciones en que se muestra el fenómeno se asocian a dos conductores, uno metálico y el otro electrolítico, pero no se indica cómo está compuesto el interior de ambos conductores ni forman parte de un circuito cerrado.

En la imagen 18 los objetos que se mueven están representados con círculos de color violeta sin indicar su tipo ni carga. Las características indican que se mueven a través del interior del conductor destacando una sección transversal del mismo. Se señala mediante flechas que se desplazan en forma lineal en la misma dirección y sentido. También se representa el sentido convencional de la corriente, coincidente con el movimiento de las cargas.

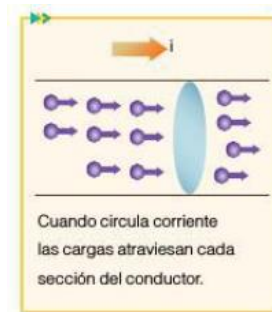


Figura 1.

FIGURA 18. Imagen 18 del libro LT8 [22] (p. 221) que grafica la sección atravesada por las cargas cuando circula una corriente eléctrica e indica su sentido.

No se muestran las colisiones de los portadores con la red, ni hay indicios claros de la conservación de la carga en la imagen. No se señalan las causas, no se explicitan las relaciones matemáticas involucradas, ni se exponen las condiciones en que ocurre el fenómeno que se representa como un circuito abierto.

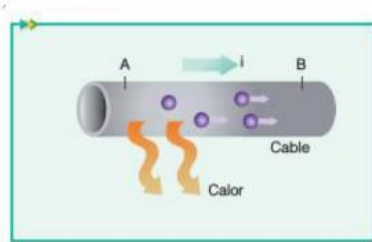


Figura 1.

FIGURA 19. Imagen 19 del libro LT8 [22] (p. 223) que representa una corriente eléctrica y la transferencia energética asociada.

En la imagen 19, los objetos que se mueven están representados por partículas sin indicar su tipo y carga, graficados con círculos de color violeta. Las características muestran que se mueven a través de un elemento de volumen de un conductor, mostrando mediante flechas que lo hacen en forma lineal en la misma dirección y sentido. El sentido de movimiento coincide con el sentido convencional de la corriente. No hay indicios de las colisiones de los portadores con la red ni se evidencia la conservación de la carga. Las causas del fenómeno no se muestran, aunque sí se representan las consecuencias de la circulación de corriente. No se explicitan las relaciones matemáticas involucradas. Las condiciones del fenómeno se dan en un cable aislado sin formar parte de un circuito completo y no se especifica cómo está compuesto el interior del conductor ni su estado de agregación.

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Sintetizamos a continuación los principales hallazgos de este estudio. En relación con los aspectos visuales-verbales de las imágenes de la muestra, encontramos:

- Foco de la representación. Todas las imágenes analizadas se centran en una actividad (el movimiento de partículas cargadas) y, al mismo tiempo, muestran entidades (ya sea partes de un circuito o el circuito completo) de las cuales indican sus componentes o algunas propiedades. Solo en una imagen se presenta una clasificación. Esto implica que al presentar el concepto de corriente eléctrica mediante ensambles multimodales se hace necesario involucrar las diferentes entidades que intervienen en el fenómeno y caracterizarlas.
- Nivel y tipo de representación. Detectamos diferentes combinaciones de nivel y tipo de representación que presentan algunos rasgos comunes, entrelazando entre sí componentes que requieren que el lector vincule objetos graficados a nivel macroscópico (como cables

y recipientes que contienen líquidos o gases u otros objetos que forman parte de un circuito eléctrico, todos los cuales se representan mediante dibujos de tipo icónico) con otros a nivel submicroscópico (como las partículas portadoras de carga y los átomos que constituyen los conductores que se dibujan mediante recursos de tipo simbólico) o a nivel simbólico (como indicadores del movimiento de las partículas, de las cargas de las mismas, de los signos asociados al campo o al potencial eléctrico, o del comportamiento de la corriente o del voltaje en función del tiempo, los cuales se representan mediante elementos de tipo indexical o simbólico).

- Componentes verbales. Estos se presentan ya sea en forma de anotaciones o de cotexto, y se utilizan: para señalar las partículas cargadas que se desplazan, sus propiedades o las del medio de conducción en el que lo hacen; para identificar el campo o la diferencia de potencial que causa el movimiento de los portadores; para indicar partes o componentes de los dispositivos que se ilustran y/o para especificar propiedades de las actividades que se presentan, las cuales ayudan a caracterizar el movimiento de las partículas cargadas, el sentido convencional de la corriente o la intensidad de corriente a lo largo del conductor. Esos componentes verbales cumplen su rol en la medida que ayudan a ampliar la información visual y a interpretar mejor el fenómeno físico.

En cuanto a los aspectos disciplinares, hemos relevado los siguientes rasgos de las imágenes de la muestra para cada una de las categorías de análisis:

- Objetos involucrados en el fenómeno. En la mayoría de las imágenes se representa la circulación de corriente de modo general por lo que no se especifica qué tipo de partículas se hallan en movimiento. En otros casos, las imágenes se refieren a la circulación de corriente en conductores metálicos por lo que los portadores son electrones libres. Sólo en dos imágenes se representa el movimiento de iones (positivos y negativos) en soluciones electrolíticas. Para ilustrar los portadores se usan en la mayoría de las imágenes círculos y en menor medida esferas, puntos pequeños o directamente el signo de las cargas. No hay uniformidad en relación con el color utilizado para colorear las cargas según su signo. En relación con la cantidad de portadores, en casi la totalidad de las imágenes se dibujan varios portadores, en una sólo un portador y en otra no se indica.
- Características del fenómeno. En la mayoría de las representaciones se muestra el movimiento de los portadores en un elemento de volumen, destacando en ciertos casos el área atravesada por la corriente que se analiza. En menor medida, encontramos que el movimiento de los portadores se da en toda la muestra. Para representar el movimiento de las partículas se usan predominantemente vectores o flechas y sólo en algunos casos un rastro, la trayectoria o un segmento. En escasas ocasiones no se representa dicho movimiento. Con respecto a la dirección del

movimiento de los portadores en un conductor, hallamos que no siempre se indica un movimiento en zig-zag graficado mediante segmentos consecutivos no alineados, sino que en la mayoría de los casos se muestra el movimiento de los portadores en línea recta en un mismo sentido. En una imagen se representa un movimiento curvilíneo o en "saltos" mediante flechas curvas que suelen asociarse a rotaciones en imágenes relacionadas con otros contenidos de Física. Con respecto a las interacciones de los portadores con el material, en muchos casos son obviadas y se representa la circulación de las cargas sin mostrar las colisiones, como si se tratara de un fluido que circula por una tubería. Aunque en muchas imágenes no se contradice la conservación de la carga, tampoco se señala claramente, lo cual se hace evidente sólo en dos de ellas. Aproximadamente, en la mitad de las imágenes no se indica el sentido convencional de la corriente. En las otras, si bien se indica, en algunos casos, no puede determinarse si el mismo coincide con el sentido del movimiento de los portadores con carga positiva.

- Causas del fenómeno. En la mayoría de las imágenes no se indica la causa asociada a la circulación de corriente; en algunas se vincula con una diferencia de potencial, y sólo en una con un campo eléctrico.
- Relaciones matemáticas involucradas en el fenómeno. En tres de las imágenes se incluyen gráficas cartesianas que representan el comportamiento de la corriente en función del tiempo o de la diferencia de potencial en función del tiempo con el objetivo de diferenciar los conceptos de corriente continua y corriente alterna.
- Condiciones del fenómeno. En la mayoría de las imágenes no se especifica el estado de agregación ni la composición del material conductor. En relación con el estado de agregación, cuando se trata de conductores sólidos, sólo en algunos casos se representa la estructura interna a nivel submicroscópico mostrando un empaquetamiento de esferas, un arreglo hexagonal o una red cristalina. En otros casos, se presenta el fenómeno en líquidos, en gases o en plasma. En relación con el material del conductor, las especificaciones encontradas se refieren a un metal, al cobre o a una solución de cloruro de sodio en agua. La gran mayoría de los elementos representados corresponden a circuitos abiertos y solamente en dos imágenes se propone el circuito cerrado incluyendo la fuente de alimentación.

VI. REFLEXIONES FINALES

El análisis de las imágenes que se incluyen en los libros de texto de la muestra nos lleva a reflexionar acerca de su posible influencia en el aprendizaje del concepto de corriente eléctrica. Hemos relevado ciertas características de las imágenes que se podrían relacionar de manera directa con dificultades encontradas en estudios anteriores acerca de la comprensión de la naturaleza de la corriente eléctrica,

por lo que su utilización acrítica contribuiría a afianzar el problema.

Los principales hallazgos de este estudio muestran que las dificultades se relacionan con errores, omisiones, simplificaciones, inconsistencias u otros inconvenientes que implican la necesidad de una intervención específica según lo planteado por Zajkov, Gegovska-Zajkova y Mitrevski [3].

Hemos detectado errores puesto que hay elementos de las imágenes que contradicen el punto de vista consensuado en la comunidad científica para representar fenómenos o nombrar algunos conceptos. Así, el movimiento de los portadores no debería presentarse como lineal tal como muestran muchas imágenes. Al mismo tiempo, encontramos errores en la denominación y diferenciación de la corriente alterna y continua que podría conducir a malas interpretaciones por parte de los estudiantes.

En muchos casos hallamos omisiones que vienen dadas por la ausencia de información. Esto ocurre cuando no se identifican los portadores de carga que se desplazan, ni se caracteriza en forma suficiente el medio en el cual se mueven. Consideramos que, si no se hace una presentación cuidadosa desde el punto de vista submicroscópico en las imágenes, se estarían promoviendo ideas erróneas, especialmente para los destinatarios de estos libros de texto que son estudiantes de niveles básicos, quienes no han estudiado todavía en detalle la estructura de la materia [11]. No debería ignorarse la estructura de los conductores, que en muchas imágenes se presentan vacíos permitiendo el desplazamiento de partículas cargadas sin obstáculos. Otras omisiones se relacionan con que la mayoría de las imágenes restringe la representación a una parte del circuito o circuito abierto, lo que podría promover una comprensión acotada del fenómeno. Esto último exigiría que el lector deba reponer la información necesaria para cerrar el circuito a fin de que por él circule una corriente eléctrica. El haber dibujado solamente porciones de conductores por donde se mueven los portadores fomentaría la idea de que no hace falta el circuito cerrado para que circule una corriente, lo cual coincide con una de las dificultades encontradas por Liu, Pan, Zhang y Bao [10].

También detectamos inconsistencias, por ejemplo, al no hacer coincidir el sentido convencional de la corriente con el sentido de movimiento de los portadores de carga positiva. Otro inconveniente se relaciona con que muchas imágenes no ponen en evidencia la conservación de la carga eléctrica, tanto en los textos verbales como en las imágenes, lo que potenciaría la dificultad encontrada en otras investigaciones en relación con la atenuación de la corriente en un circuito [10].

En definitiva, consideramos que comprender un texto multimodal implica poder interpretar todos los recursos semióticos que se conjugan para construir significados en los ensambles multimodales incluidos en los materiales escritos. Esto implica para el estudiante un desafío de alta demanda y para el docente la necesidad de un acompañamiento en su deconstrucción, que incluye una vigilancia de las posibles dificultades que pueden influir en el aprendizaje. En especial, el valor de las representaciones gráficas para ilustrar conceptos abstractos como el concepto

de corriente [2] es indiscutible en términos de aprendizaje, en especial en los primeros años de la educación secundaria. Como consecuencia de las dificultades que hemos relevado, no sería recomendable la selección acrítica de las imágenes para su abordaje en la clase de Física. Se torna indispensable un análisis previo de los materiales educativos por parte del docente, quien debería examinar cuidadosamente las imágenes que se incluyen, como primer paso para poder formular consignas que orienten al estudiante a fin de detectar aquellos aspectos que pudieran ofrecer dificultades para aprender los conceptos físicos. Este trabajo pretende proporcionar un modo de análisis en lo que se refiere a la presentación del concepto de corriente eléctrica en libros de texto. Asimismo, esta investigación aporta lineamientos desde la Lingüística Sistémico-Funcional y desde la Didáctica de las Ciencias que podrían ayudar a docentes e investigadores en ese proceso de deconstrucción y análisis de los ensambles multimodales, el cual podría extenderse a otros conceptos físicos en futuras investigaciones.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Universidad Nacional de San Juan que avala y subsidia las investigaciones realizadas.

REFERENCIAS

- [1] Danielsson, K. y Selander, S., *Multimodal texts in disciplinary education. A comprehensive framework* (Springer, Switzerland, 2021).
- [2] Osman, K., *Addressing secondary school students' misconceptions about simple current circuits using the learning cycle approach*, En M. Karpudewan, A. Md Zain y A. Chandrasegaran (Eds.). *Overcoming Students' Misconceptions in Science*, (Springer, Singapore, 2017) pp. 223-242.
- [3] Zajkov, O., Gegovska-Zajkova, S. y Mitrevski, B., *Textbook-caused misconceptions, inconsistencies, and experimental safety risks of a grade 8 physics textbook*, *International Journal of Science and Mathematics Education* **15**, 837-852 (2017).
- [4] Unsworth, L., Tytler, R., Fenwick, L., Humphrey, S., Chandler, P., Herrington, M., y Pham, L., *Multimodal literacy in school science: Transdisciplinary perspectives on theory, research and pedagogy*, (Routledge, London & New York, 2022).
- [5] Unsworth, L., *Infografías científicas en secundaria: complejos de significados multimodales en ensambles compuestos verbales-visuales*, *Pensamiento Educativo. Revista de Investigación Educativa Latinoamericana* **58**, 1-19 (2021).
- [6] Doran, Y. J. y Martin, J. R., *Field relations: Understanding scientific explanations*, En K. Maton, J. R. Martin y Y. J. Doran (Eds.). *Teaching Science: Knowledge, Language, Pedagogy*, (Routledge, London & New York, 2021) pp. 105-133.
- [7] Martin, J. R. y Rose, D., *Genre relations. Mapping culture*, (Equinox, London, 2008).
- [8] Gilbert, J. K y Treagust, D. F., *Introduction: Macro, Submicro and Symbolic Representations and the Relationship Between Them: Key Models in Chemical Education*, En J. K. Gilbert y D. F. Treagust (Eds.). *Multiple Representations in Chemical Education*, (Springer, Dordrecht, 2009), pp. 1-10.
- [9] Munfaridah, N., Avraamidou, L. y Goedhart, M., *The use of multiple representations in undergraduate physics education: what do we know and where do we go from here?*, *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education* **17**, em1934 (2021).
- [10] Liu, Z., Pan, S., Zhang, X. y Bao, L., *Assessment of knowledge integration in student learning of simple electric circuits*, *Physical Review Physics Education Research* **18**, 020102 (2022).
- [11] Stocklmayer, S. M. y Treagust, D. F., *A historical analysis of electric currents in textbooks: A century of influence on physics education*, *Science Education* **3**, 131-154 (1994).
- [12] Wong, C. L., Chu, H. E., y Yap, K. C., *A framework for defining scientific concepts in science education*, *Asia-Pacific Science Education* **6**, 615-644 (2020).
- [13] Wong, C. L. y Chu, H. E., *The conceptual elements of multiple representations: A study of textbooks' representations of electric current*, En D.F. Treagust et al. (Eds.). *Multiple Representations in Physics Education, Models and Modeling in Science Education*, (Springer, Cham, 2017) pp. 183-206.
- [14] Wong, C. L., Chu, H. E. y Yap, K. C., *Developing a framework for analyzing definitions: A study of the Feynman Lectures*, *International Journal of Science Education* **36**, 2481-2513 (2014).
- [15] Balbiano, A. et al., *Física y química 2: La materia: Modelo corpuscular, cambios y carácter eléctrico. Magnetismo. Fuerzas y campos. Serie Santillana en línea*, (Santillana, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 2016).
- [16] Calderón, S. et al., *Física y Química. La naturaleza corpuscular de la materia. Las mezclas y las sustancias. La electricidad y el magnetismo. Las fuerzas y los campos. Las reacciones químicas. Serie Avanza*, (Kapelusz, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 2018).
- [17] Pochne, J. et al., *Física y Química 2 (ES). La naturaleza corpuscular de la materia. Electricidad y Magnetismo. Fuerzas y campos. Serie Savia*, (SM, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 2018).
- [18] Alberico, P. et al., *Fisicoquímica 2. La naturaleza corpuscular y eléctrica de la materia. Magnetismo, fuerzas y campos. Fundamentales Estrada*, (Estrada, Boulogne, 2021).
- [19] Esposito M. G. y Zandanel A.E., *Fisicoquímica 2: Materia, electricidad y magnetismo, fuerzas y campos*, (Maipue, Ituzaingó, 2014).
- [20] Edelsztejn, V., Risaro M. y Marzán M., *Fisicoquímica 2. Serie Llaves*, (Estación Mandioca, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 2016).
- [21] Bulwik, M. y Rubinztein, J., *Física y Química 1. Serie Activados*, (Puerto de Palos, Boulogne, 2017).

[22] Calderón, S. et. al., *Física y Química I. Serie Nuevas Miradas*, (Tinta Fresca, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 2015).

[23] Bazo, R. et al., *Física y Química I. Serie Convergente*, (Edelvives, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 2019).

[24] Maturano, C., *El manual escolar en la enseñanza y el aprendizaje de las Ciencias Naturales: análisis de representaciones sociales y aspectos didácticos de su utilización en la escuela secundaria*, Tesis doctoral en Ciencias de la Educación, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional de Cuyo, (2018), (sin publicar).