

# La multimodalidad del discurso científico en explicaciones tecnológicas incluidas en libros de texto universitarios de física

Multimodality of scientific discourse in technological explanations included in university textbooks of Physics

Carla Inés Maturano<sup>1</sup> y Carina Alejandra Rudolph<sup>1</sup>

<sup>1</sup>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), CP 5400, San Juan, Argentina.

\*E-mail: [cmatur@ffha.unsj.edu.ar](mailto:cmatur@ffha.unsj.edu.ar)

## Resumen

Este trabajo analiza las relaciones entre los sistemas semióticos que se conjugan al presentar explicaciones tecnológicas en libros de texto universitarios de física, con el objetivo de caracterizarlas con fines didácticos a la luz de los aportes de la lingüística sistémico-funcional. Para eso, se seleccionó el abordaje de un objeto tecnológico -las impresoras- en seis libros de texto. El estudio consta de tres etapas: análisis del género del texto verbal, análisis del significado ideacional construido por las imágenes y análisis de las relaciones lógico-semánticas entre los modos verbales y visuales. Los resultados muestran en los textos verbales un predominio de una secuencia de eventos que explica el proceso de impresión entrelazada con un informe composicional que presenta los componentes del objeto tecnológico y en los textos visuales un énfasis en las etapas del proceso o en sus componentes. La interrelación entre los textos verbales y visuales es predominantemente complementaria, lo cual requiere que el lector ponga en marcha procesos inferenciales específicos para salvar los posibles obstáculos. Esto podría lograrse a través de tareas que guíen a los estudiantes a desentrañar y vincular los sistemas semióticos propios de la física.

**Palabras clave:** Multimodalidad; Física; Explicaciones tecnológicas; Libros de texto universitarios; Objetos tecnológicos.

## Abstract

In this paper, we analyze the relationships between the semiotic systems that are combined when presenting technological explanations in university Physics textbooks with the aim of characterizing them for didactic purposes using the contributions of Systemic-Functional Linguistics. We selected the explanation of a technological object -printers- in six textbooks. We organize the study in three stages: analysis of the genre of the verbal text, analysis of the ideational meaning constructed by the images, and analysis of the logical-semantic relationships between the verbal and visual modes. The results show in the verbal texts a predominance of a sequence of events that explains the process of printing interrelated with a compositional report that presents the components of the technological object and in visual texts an emphasis on the stages of the process or its components. The interrelation between verbal and visual texts is predominantly complementary, which requires that the reader implements specific inferential processes to overcome possible obstacles. This could be accomplished through tasks that guide students to unpack and link the typical semiotic systems of Physics.

**Keywords:** Multimodality; Physics; Technological explanations; University textbooks; Technological devices.

## I. INTRODUCCIÓN

En las disciplinas involucradas en las Ciencias Naturales, el discurso es inherentemente multimodal ya que los significados científicos se logran a través de una integración de varios sistemas semióticos: lenguaje verbal, diagramas, ecuaciones, entre otros (Lemke, 2005; Jewitt, 2009; Kress, 2009; Parodi, 2010; Tang, 2013). Esto implica que la interacción simultánea de los modos es lo que caracteriza al texto desde el punto de vista multimodal (Menéndez, 2016). Según este autor, el lenguaje verbal no puede analizarse aisladamente de los otros modos, ni estos son subsidiarios ni marginales a él, por lo que se torna necesario analizar la interrelación y jerarquización de los modos intervinientes. Existe un creciente reconocimiento de esta multimodalidad de las comunicaciones científicas (Parodi, 2010; Yore y Hand, 2010) por lo que es posible hablar de una multiseiosis del discurso científico y de una naturaleza multiplicativa del significado que se origina en las expansiones semánticas utilizadas en ciencias (Liu y Owyong, 2011). Desde esta perspectiva, ocuparnos del discurso científico es, sin duda, detenernos a analizar los sistemas semióticos involucrados y sus interrelaciones.

El objeto de estudio de nuestra investigación está constituido por las explicaciones acerca del funcionamiento de objetos tecnológicos que se incluyen en los libros de texto de física, donde se ponen en juego múltiples relaciones entre los sistemas semióticos antes mencionados. Fernández-González y Torres-Gil (2014) analizaron el abordaje de los dispositivos tecnológicos en los libros de texto de ciencias, restringiendo su estudio a libros de nivel secundario y a dispositivos cotidianos y utilizaron mapas conceptuales para representar qué son, para qué sirven, por qué funcionan y cómo funcionan. Zang, Giacosa y Chrobak (2019) hicieron un minucioso análisis de las investigaciones que aparecen en publicaciones periódicas en revistas en español de Educación y Enseñanza de las Ciencias de acceso libre en el periodo de tiempo 2007-2018 que tienen a los libros de texto de Ciencias como objeto de estudio, y la única investigación relevada acerca del modo de abordaje de los dispositivos tecnológicos es la descrita anteriormente (Fernández-González y Torres-Gil, 2014). Fuera de la muestra analizada por estos autores, encontramos otra investigación realizada por Fernández-González y Torres-Gil (2006), quienes detectaron interés de los estudiantes hacia el estudio de dispositivos tecnológicos de uso cotidiano, pero hallaron que los libros de texto españoles de secundaria obligatoria no respondían a las expectativas sobre esos contenidos, ya sea porque las referencias a estos dispositivos son escasas o porque en ocasiones contienen errores conceptuales, nivel inapropiado o falta de claridad expositiva. No hemos encontrado estudios que analicen el abordaje a nivel universitario de las explicaciones que, desde el punto de vista de la física, aborden el funcionamiento de objetos tecnológicos. En este trabajo analizamos las relaciones entre los sistemas semióticos que se ponen en interacción al presentar explicaciones tecnológicas acerca de un dispositivo (las impresoras) en libros de texto universitarios de física con el objeto de caracterizarlas con fines didácticos a la luz de los aportes de la lingüística sistémico-funcional.

## II. MARCO TEÓRICO

Ayrey (2009) define el discurso disciplinar como el conjunto de representaciones, herramientas y actividades de una disciplina y sugiere que la fluidez, plasmada en una constelación crítica de recursos semióticos, puede ser una condición necesaria (aunque no siempre suficiente) para obtener un acceso holístico y significativo al conocimiento disciplinar. Adoptar una perspectiva multimodal en el análisis del discurso científico implica pensar la comunicación como un paisaje semiótico complejo en el que cada modo aporta un significado parcial y tiene el mismo status que los modos restantes. La física tiene su propio objeto de estudio y sus propias formas de organizar y expresar su conocimiento (Doran, 2018), adquiriendo relevancia los recursos semióticos extralingüísticos. Así, lo que solía considerarse extralingüístico o residual tiene la misma importancia que las expresiones lingüísticas (Kress y van Leeuwen, 2001).

En las últimas décadas se registra un interés creciente en los recursos que se utilizan para enseñar y aprender ciencias (Prain y Hand, 2016). El foco se ha desplazado desde el lenguaje verbal hacia otros modos de producción y comunicación del conocimiento (Kress y van Leeuwen, 2008; Liu, 2011; Tang, Delgado y Moje, 2014; Danielsson, 2016). Por lo tanto, un aspecto importante de la alfabetización científica es que los estudiantes sean capaces de abordar las representaciones multimodales que se emplean en ciencia y relacionar las diferentes formas de los signos con las ideas científicas (Tang y Moje, 2010). Tratando de dar respuesta a esta problemática, consideramos que la lingüística sistémico-funcional (en adelante, LSF) sería un marco descriptivo e interpretativo adecuado. Dicho enfoque permite el análisis de productos auténticos de la interacción social (textos), a los que considera en relación con el contexto social y cultural en el cual se negocian. En este marco, en Latinoamérica, se han realizado investigaciones que han analizado textos de manuales escolares en ciencias sociales y naturales con distintos objetivos (Moss, Natale y Oteiza, 2009; Moyano, 2013; Manghi *et al.*, 2016; Ibáñez, Moncada y Arriaza, 2018).

Nos posicionamos desde la teoría de género de la LSF, la cual define a los géneros como configuraciones recurrentes de significado que instancian prácticas sociales de una cultura determinada (Martin, 2005). Martin y Rose (2008) sostienen que los géneros más frecuentes utilizados en ciencias son los informes -que describen el mundo natural- y las explicaciones -que se centran en cómo o por qué suceden los procesos naturales-, los cuales juegan un rol complementario entre sí al explorar un tema. Identifican tres tipos de informes: descriptivo (describe un fenómeno -entidad o actividad- centrándose en sus rasgos o características); clasificatorio (clasifica miembros de una clase general en relación con un criterio o conjunto de criterios) y composicional (se centra en los componentes de una entidad -las partes de un todo-, los cuales pueden definirse o describirse). Además, enumeran distintos tipos de explicaciones: secuencial (se focaliza en una secuencia simple de eventos entre los cuales se da una relación causal obligatoria); factorial (explica un evento con base en múltiples factores contribuyentes mediante relaciones causales o temporales); de consecuencia (se centra en un evento simple que puede tener dos o más consecuencias en el mundo natural); condicional (explica fenómenos cuyos efectos pueden ser diferentes dependiendo de condiciones variables) y tecnológica (se centra en cómo o por qué suceden los procesos tecnológicos). Esta investigación focaliza en este último género, cuya estructura esquemática comienza con la identificación del fenómeno seguida por la etapa de explicación, la cual puede tener varias fases. Por lo general, involucra secuencias y relaciones causales y temporales; y como están implicados objetos tecnológicos, también menciona las locaciones en las que suceden los procesos, por lo que incluye su composición. Un objeto tecnológico tiene una doble naturaleza: es un objeto físico con una estructura y propiedades físicas específicas, cuyo funcionamiento se rige por las leyes de la naturaleza, y tiene una función es decir que dentro de un contexto de acción humana puede usarse como un medio para un fin (Kroes, 1998; Chen y Li, 2017). El análisis que realizamos en este trabajo en términos del lenguaje de la física se restringe al aspecto estructural del objeto, que hace uso de conceptos, leyes y teorías físicas y no se ocupa de las funciones, objetivos o intenciones del objeto, es decir de su función teleológica.

Respecto de las imágenes en informes y explicaciones en ciencia y tecnología, Martin y Rose (2008) proponen un abordaje desde tres perspectivas: tipos de significado ideacional construido por las imágenes, tipos de organización textual de las mismas y tipos de relaciones entre los géneros visuales y verbales. Si bien, las tres perspectivas son válidas, nos centraremos en la primera porque nos proporciona un panorama acerca del fenómeno representado en las imágenes, y en la última porque nos permite comprender cómo la interconexión semiótica entre los modos verbales y visuales construye el significado del texto multimodal. El tipo de significado ideacional construido por las imágenes se centra en: (a) el foco que puede estar en entidades (clasificándolas o mostrando su composición) o en actividades (en una actividad única o en una secuencia de actividades); (b) las etiquetas que pueden ser implícitas o explícitas; y (c) la representación que puede ser icónica (fotografías o dibujos realistas), indexical (figuras indiciales), o simbólica (diagramas y símbolos). En cuanto a los tipos de relaciones entre los textos visuales y verbales, tanto Martin y Rose (2008) como Chan (2011) plantean un abordaje desde las relaciones lógico-semánticas. Este último autor, a su vez, propone centrar el análisis considerando dos relaciones ideacionales: concurrencia y complementariedad. La concurrencia se da cuando el significado ideacional se corresponde a través de los modos semióticos, lo cual no implica que el significado simplemente se repita o duplique, sino que los distintos sets de recursos semióticos empleados por cada modo permitan posibilidades distintas, ya sea especificando más o describiendo, mientras que no se introduce un nuevo elemento ideacional en el texto o en la imagen. La complementariedad se da cuando las relaciones de significado entre la imagen y el texto son diferentes pero complementarias, ya sea que la imagen o el texto extienda o adicione nuevos significados, que sean yuxtapuestos, que se complementen mutuamente, o que el contenido ideacional del texto se contradiga o discrepe con el de la imagen.

Actualmente, los materiales didácticos combinan diversos recursos semióticos que se ensamblan para enseñar en el aula desde una perspectiva multimodal sobre la comunicación y ofrecen a los estudiantes un significado complejo que se construye a partir de la integración multimodal (Manghi, 2013). Los libros de texto universitarios de física, al igual que muchos libros de texto de diferentes disciplinas, presentan un complejo conjunto de relaciones entre los componentes visuales y verbales, característicos de los textos multimodales que se dejan implícitas para que el lector las infiera (Martin y Rose, 2008). Para que el docente disciplinar pueda guiar estas inferencias necesita analizar de qué manera interactúan entre sí las diferentes modalidades comunicacionales que se conjugan en los manuales universitarios. Los materiales utilizados para la enseñanza constituyen un desafío para su interpretación por lo que necesitan de un docente mediador con experiencia semiótica que intervenga en el proceso pedagógico para favorecer el aprendizaje (Mangui *et al.*, 2016), de modo que los rasgos discursivos se manejen adecuadamente y no se conviertan en una dificultad para la adquisición y construcción del conocimiento (Barletta y Mizuno, 2011). Para favorecer el aprendizaje es necesario que el docente genere actividades que permitan a los estudiantes construir conexiones entre elementos correspondientes en el texto verbal y en las imágenes a partir de la identificación de relaciones relevantes entre estos, ya que dichas conexiones cuando ponen en evidencia compatibilidad entre ambas representaciones permitirán la comprensión del tema disciplinar (Ge *et al.*, 2018).

Con base en lo expuesto, la lectura en física debe permitir desentrañar los significados inmersos en el entramado de relaciones que se presentan en los libros de texto, para lo cual esta investigación intenta aportar algunos elementos.

### III. METODOLOGÍA

Para mostrar la interacción multimodal en las explicaciones tecnológicas seleccionamos el abordaje de un objeto tecnológico -las impresoras- en varios libros de texto universitarios de física utilizados en la cátedra Física II del Profesorado en Tecnología de la Universidad Nacional de San Juan. Los mismos abordan el proceso de funcionamiento de las impresoras desde el punto de vista de la física cuando se tratan contenidos sobre fuerzas y campo eléctrico. Teniendo en cuenta estos criterios, la muestra queda conformada por las explicaciones tecnológicas sobre impresoras que figuran en las páginas que se indican en seis libros de texto que enumeramos aleatoriamente para su identificación: Young y Freedman (2013) (p. 689) [1], Serway y Jewett (2009) (p. 712) [2], Giancoli (2009) (pp. 582-583) [3], Bauer y Westfall (2011) (p. 698) [4], Resnick, Halliday y Krane (1999) (pp. 27-28) [5], y Tipler y Mosca (2012) (pp. 715-716) [6].

El análisis busca desentrañar tanto las características de los textos verbales y visuales como los diferentes vínculos intersemióticos en el tratamiento de las explicaciones tecnológicas sobre el objeto seleccionado. Teniendo en cuenta que en los textos multimodales existen significados confluyentes y divergentes expresados a través de distintos modos en que se presenta la información, organizamos el estudio en tres etapas: (a) análisis del género del texto verbal; (b) análisis del significado ideacional construido por la imagen; (c) análisis de las relaciones lógico-semánticas entre los modos verbales y visuales. Cabe destacar que para los fines de este trabajo consideramos que tanto el epígrafe como las etiquetas forman parte de la imagen.

En el procesamiento utilizamos una técnica de consenso entre dos investigadores. Una vez decididos los rasgos a tener en cuenta para analizar los géneros de los textos verbales y de las imágenes, y para examinar sus relaciones, considerando aportes en el marco de la LSF, cada investigador con formación específica en el área de Lingüística o de Educación en Ciencias, analizó las características de los textos verbales y visuales y la concurrencia o la complementariedad ideacional (Chan, 2011). Luego, discutimos discrepancias y coincidencias para acordar los resultados que se exponen a continuación.

### IV. RESULTADOS

En cada uno de los libros de la muestra analizamos inicialmente el modo en que se incluyen las explicaciones tecnológicas relacionadas con las impresoras. En algunos casos, el tema se aborda como una aplicación de los contenidos que se están trabajando dentro de la misma sección [1], en otros bajo un subtítulo específico [2, 4], bajo una sección especial [3] o como un problema resuelto [5, 6]. Si bien en todos los casos se trata como aplicación de la electrostática, detectamos diferencias en el modo de impresión que se detalla en cada libro: impresión láser [1, 2, 3, 4], fotocopiadora xerográfica [2, 3] e impresión de inyección de tinta [3, 5, 6]. Por la limitación de extensión de este artículo, exponemos en forma sintética el análisis realizado, ampliando especialmente para los libros [1] y [2] a modo de ejemplo.

#### A. Ejemplo 1 (Explicación tecnológica incluida en el Libro [1])

El texto verbal expresa:

*Una aplicación de las fuerzas entre cuerpos cargados es una impresora láser (figura 21.2). Al tambor formador de imágenes, que es sensible a la luz, se le da una carga positiva. Mientras el tambor gira, un rayo láser ilumina algunas áreas seleccionadas de este y las deja con una carga negativa. Las partículas del tóner cargado positivamente se adhieren solo en las superficies del tambor donde el láser "escribió". Cuando una hoja de papel entra en contacto con el tambor, las partículas del tóner se adhieren a la hoja y forman la imagen. (Young y Freedman, 2013, p. 689)*

Esta explicación tecnológica se centra en una secuencia de eventos focalizada en indicar cómo se produce la impresión láser. Las relaciones explícitas son temporales y se usan los conectores: mientras, cuando. Los componentes del artefacto que se mencionan son: tambor formador de imágenes, rayo láser, tóner, hoja de papel. El texto verbal refiere a la imagen que lo acompaña indicando que se trata de una aplicación del tema que está desarrollando.

La imagen (Figura 1) se centra en una actividad (proceso de impresión), la cual es compleja ya que muestra una secuencia de etapas en una misma figura indicando los movimientos mediante flechas. Las etiquetas están enumeradas y se refieren a los diferentes pasos del proceso. El epígrafe titula el proceso. Esta imagen es una representación en la que predominan los elementos icónicos (foco, tambor rotatorio, hoja de papel) pero incluye también elementos indexicales (flechas que indican giro) y simbólicos (carga eléctrica positiva o negativa).

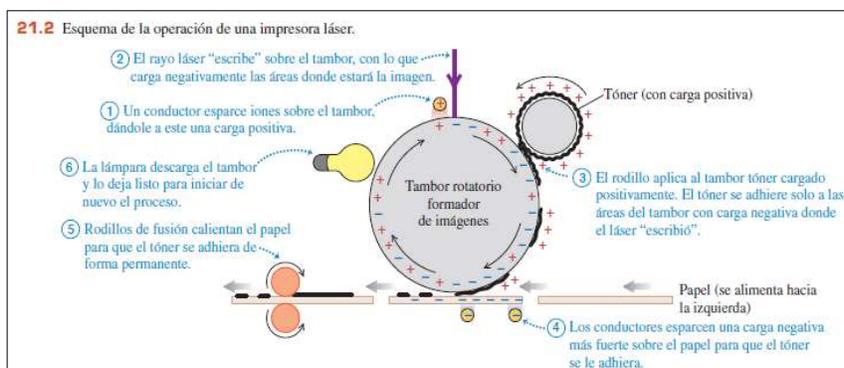


FIGURA 1. Imagen extraída de Young y Freedman (2013, p. 689).

En cuanto a la relación lógico-semántica entre texto verbal y visual, detectamos una complementariedad ideacional debido a que la imagen extiende el significado del texto adicionando nuevas etapas (con numeración 5 y 6), mayor grado de detalle en las etapas y nuevos elementos, lo cual se podría convertir en un obstáculo potencial para su comprensión. La imagen, a través de las etiquetas y de los símbolos de las cargas eléctricas explica el proceso físico involucrado que no se explicita detalladamente en el texto verbal. En cuanto a los elementos, tanto los conductores como los rodillos de fusión y la lámpara de descarga forman parte de la imagen, pero no del texto verbal.

## B. Ejemplo 2 (Explicación tecnológica incluida en el Libro [2])

El texto verbal expresa:

*El proceso de xerografía se ilustra en las partes de la a) a la d) en la figura 25.26. Primero, a la superficie de una placa o de un tambor que ha sido recubierto con una película delgada de un material fotoconductor (selenio o algún compuesto de éste) se le da una carga electrostática positiva en la oscuridad. Después, la página a copiar es enfocada por una lente sobre la superficie con carga. La superficie fotoconductor se convierte en conductora sólo en las áreas donde es tocada por la luz. En estas áreas, la luz produce portadores de carga en el fotoconductor que mueven la carga positiva del tambor. Sin embargo, quedan las cargas positivas en aquellas áreas donde el fotoconductor no fue expuesto a la luz, dejando una imagen latente del objeto en forma de una distribución superficial de carga positiva.*

*Después, sobre la superficie fotoconductor se esparce un polvo cargado negativamente, llamado tóner. El polvo con carga se adhiere sólo a aquellas áreas de la superficie que contienen la imagen positivamente cargada. Por lo tanto, el tóner (y por ende la imagen) es transferido a la superficie de una hoja de papel positivamente cargada.*

*Por último, el tóner se "fija" a la superficie del papel al derretirse cuando pasa por unos rodillos de temperatura alta. Esto da como resultado una copia permanente del original.*

*Una impresora láser (figura 25.26e) funciona con el mismo principio, excepto que se utiliza un haz láser dirigido por computadora para iluminar el fotoconductor en lugar de hacerlo mediante una lente. (Serway y Jewett, 2009, p. 712)*

Esta explicación tecnológica se centra en una secuencia de eventos focalizada en indicar en detalle las etapas de la impresión xerográfica y en presentar por comparación la impresión láser. Las relaciones explícitas son temporales y se usan los conectores: primero, después, por lo tanto, por último. Los componentes del artefacto que se mencionan son: placa, tambor, película de selenio, página a copiar, lente, cargas, imagen del objeto, tóner, rodillos de temperatura alta, láser. El texto hace mención de la figura que lo acompaña indicando que se trata de la ilustración del proceso de xerografía en estudio (cuatro primeras imágenes enumeradas) y de la impresión láser (última imagen).

El texto visual (Figura 2) se centra en una actividad compleja (proceso de impresión) que se muestra en una secuencia de varias imágenes que capturan diferentes etapas del proceso de impresión xerográfica y una última imagen que muestra lo que ocurre en una impresión láser. Las etiquetas (a, b, c, d) sintetizan cada etapa. Las etiquetas no numeradas aluden a componentes del artefacto. El epígrafe de la imagen pone en evidencia la secuencia del proceso mediante la enumeración de sus pasos. Explica cada etapa en una relación biunívoca con cada imagen analizando

tanto los aspectos mecánicos del proceso como el comportamiento de las cargas eléctricas. En la representación visual predominan los elementos icónicos (tambor, lente, tóner, hoja de papel), incluyendo también elementos indexicales (haz de luz, flechas que indican giro, rayo láser) y simbólicos (carga eléctrica positiva o negativa).



**Figura 25.26** El proceso xerográfico: a) La superficie fotoconductor del tambor está positivamente cargada. b) Mediante el uso de una fuente de luz y de una lente, en la superficie se forma una imagen constituida por cargas positivas. c) La superficie que contiene la imagen se cubre con polvo negativamente cargado, el cual se adhiere sólo al área de la imagen. d) Un pedazo de papel se coloca sobre la superficie y se le da una carga positiva que transfiere la imagen al papel ya que las partículas de polvo negativamente cargadas emigran hacia el papel. Después se somete el papel a un tratamiento térmico para "fijar" el polvo. e) Una impresora láser opera de manera similar excepto que la imagen es producida mediante la conexión y desconexión de un haz láser conforme éste pasa sobre el tambor recubierto de selenio.

**FIGURA 2.** Imagen extraída de Serway y Jewett (2009, p. 712)

La relación lógica entre texto e imagen se puede caracterizar como una concurrencia ideacional debido a que los significados presentados en ambos modos son similares. No se introducen nuevos elementos ya que se detecta correspondencia entre los componentes, las etapas del proceso de xerografía y la comparación con la impresión láser.

Por razones de extensión no incluimos el análisis completo realizado del abordaje en los libros restantes sino una síntesis. Para los libros [3] y [4] los textos verbales están organizados como una secuencia que destaca los pasos del proceso, ya sea usando enumeraciones o conectores temporales. Las imágenes combinan representaciones icónicas (fotografía de una impresora, dibujo realista de sus componentes y de la hoja de papel), indexicales (flechas que indican el recorrido del papel y el haz de luz) y simbólicas (signos de las cargas eléctricas). El énfasis en las imágenes para ambos libros está en los componentes y no en el proceso como ocurre con los Ejemplos 1 y 2; las etiquetas se refieren a estos; el epígrafe reitera de modo sintético los pasos del proceso que se presentan en ambos casos en el texto verbal. Hay una relación de complementariedad en la que el texto verbal amplía la explicación de cada etapa del proceso, lo cual podría convertirse en un obstáculo para la comprensión en la medida en que requiere al lector inferir las relaciones de significado con los componentes que se muestran en las imágenes.

Los libros [5] y [6] abordan la impresora a inyección de tinta. En ambos casos se presenta información en un problema muestra resuelto en el texto, por lo que se incluye el lenguaje matemático que combina tanto los símbolos correspondientes a las magnitudes físicas (masa  $m$ , carga eléctrica  $q$ , campo eléctrico  $E$ , entre otras) como sus valores. Los textos verbales en ambos casos se estructuran como una explicación que indica los pasos seguidos para llegar a calcular el valor de la magnitud física que se averigua (la desviación de la gota de tinta y la magnitud del vector campo eléctrico, respectivamente). Las imágenes que acompañan los problemas son diferentes. En el libro [5] se incluyen tres imágenes que combinan representaciones principalmente indexicales y simbólicas que muestran la desviación de las gotas de tinta al atravesar las placas deflectoras. En el libro [6] se ilustra este proceso en una imagen que combina representaciones icónicas, indexicales y simbólicas centradas tanto en la composición de la impresora como en el proceso de impresión. En todos los casos las etiquetas son explícitas y se focalizan en indicar los componentes del sistema. Los epígrafes resumen el proceso. La relación entre ambos modos es de complementariedad, lo cual exigiría que el lector reconstruya las relaciones implícitas de significado expresadas en múltiples modos.

## VI. CONCLUSIONES

La investigación realizada nos ha permitido analizar la interacción entre los diferentes sistemas semióticos en que se expresan los significados en física, cuando se presentan en los manuales universitarios explicaciones tecnológicas como las que corresponden a las impresoras que hemos examinado en este trabajo. En relación con el análisis de los textos verbales, destacamos la importancia de la identificación inicial del género. En las explicaciones tecnológicas analizadas se advierte una regularidad en su estructura que muestra un predominio de una secuencia de eventos entrelazada con un informe composicional que presenta los componentes del objeto tecnológico. Con respecto a los textos visuales, encontramos que las imágenes se centran en las etapas del proceso o en sus componentes. La interrelación de los textos verbales y visuales se da de modo concurrente o complementario, siendo esta última la situación más frecuente.

Cuando se leen textos que involucran representaciones multimodales, se requiere que el lector construya conexiones referenciales entre elementos correspondientes expresados en palabras e imágenes (Ge *et al.*, 2018). Así, si hay concurrencia ideacional se favorecería la comprensión, pero si el texto o la imagen adicionan nuevos elementos o estos no son compatibles entre sí, la construcción del significado podría requerir la mediación del docente. Cuando hay obstáculos, en cualquiera de los modos intervinientes, se deberían generar procesos inferenciales específicos para salvarlos. En ese caso, las tareas que se propongan en el aula servirían de puente para que el estudiante logre relacionar significados expresados en los textos verbales y visuales.

No podemos suponer que la integración multimodal se dará en forma espontánea, incluso en el nivel universitario. No siempre la causa de este problema se asociaría a las competencias lingüísticas de los estudiantes, sino que en muchas ocasiones los textos mismos no son lo suficientemente claros, completos y coherentes para facilitar la comprensión. Para guiar el proceso de construcción de significados de materiales multimodales, sería necesario proponer formas de mediación entre los estudiantes y los textos que intenten mejorar el aprendizaje en las aulas. El docente disciplinar, a través de tareas especialmente diseñadas para cada texto debería guiar a los estudiantes en el desafío que implican los procesos inferenciales necesarios para desentrañar y vincular las modalidades representacionales. Los ejemplos analizados podrían contribuir para considerar la integración multimodal propia del género explicación tecnológica y esbozar lineamientos para su abordaje.

La interrelación de significados detectada nos lleva a sugerir, para futuras investigaciones, evitar los 'recortes' que examinan exclusivamente los textos expresados en lenguaje verbal cuando se analizan libros de texto o se estudia su comprensión por parte de los estudiantes. El foco de análisis debería ubicarse en las múltiples representaciones usadas para exponer los contenidos y en las expansiones semánticas que se derivan de su interacción. Un paso adelante en este sentido, lo constituiría el análisis de otros géneros, además de la explicación tecnológica, y de otros materiales educativos multimodales en física.

## REFERENCIAS

- Airey, J. (2009). *Science, Language and Literacy. Case Studies of Learning in Swedish University Physics. Acta Universitatis Upsaliensis. Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology 81*. Uppsala, Sweden: Geotryckeriet.
- Barletta, N. y Mizuno, J. (2011). Una propuesta para el manejo del lenguaje del texto de Ciencias Naturales. *Zona Próxima*, 6, 32-47.
- Bauer, W. y Westfall, G. (2011). *Física para Ingeniería y Ciencias con Física Moderna. Volumen 2*. México: Mc Graw Hill Educación.
- Chan, E. (2011). Integrating visual and verbal meaning in multimodal text comprehension: towards a model of inter-modal relation. En S. Dreyfus, S. Hood y M. Stenglin (Eds.), *Semiotic Margins. Meaning in Multimodalities*, (pp. 144-167). London and New York: Continuum International Publishing Group.
- Chen, Y. y Li, J. L. (2017). Research on technological explanation based on practical reasoning. En D. Wang (Ed.), *Information Science and Electronic Engineering: Proceedings of the 3rd International Conference of Electronic Engineering and Information Science (ICEEIS 2016)* (pp. 253-260). London and UK: Taylor and Francis.
- Danielsson, K. (2016). Modes and meaning in the classroom – The role of different semiotic resources to convey meaning in science classrooms. *Linguistics and Education*, 35, 88-99.
- Doran, Y. J. (2018). *The Discourse of Physics. Building Knowledge through language, mathematics and image*. New York and London: Routledge.
- Fernández-González, M. y Torres-Gil, A. J. (2006). Los dispositivos tecnológicos cotidianos como objeto de enseñanza. En A. L. Cortés y M. D. Sánchez (Eds.), *XXII Encuentro de Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 18, 1-8. Universidad de Zaragoza.
- Fernández-González, M. y Torres-Gil, A. J. (2014). Los dispositivos tecnológicos cotidianos en libros de texto. Presencia y análisis de las exposiciones. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 11(3), 290-302.

- Ge, Y., Unsworth, L., Wang, K. y Chang, H. (2018). Image Design for Enhancing Science Learning: Helping Students Build Taxonomic Meanings with Salient Tree Structure Images. En K. Tang y K. Danielsson (Eds.). *Global Developments in Literacy Research for Science Education* (pp. 237-258). Switzerland: Springer.
- Giancoli, D. C. (2009). *Física para ciencias e ingeniería con física moderna. Volumen 2. Cuarta edición*. México: Pearson Educación.
- Ibáñez, R., Moncada, F. y Arriaza, V. (2018). Recontextualización del conocimiento en textos escolares chilenos. *Revista Signos*, 51(98), 430-456.
- Jewitt, C. (2009). *The Routledge Handbook of Multimodal Analysis*. London: Routledge.
- Kress, G. (2009). *Multimodality. A social semiotic approach to contemporary communication*. London: Routledge.
- Kress, G. y van Leeuwen, T. (2001). *Multimodal Discourse. The modes and media of contemporary communication*. London: Arnold.
- Kress, G. y van Leeuwen, T. (2008). *Reading Images: The grammar of visual design*. London and New York: Routledge.
- Kroes, P. (1998). Technological explanations: the relation between structure and function of technological objects. *Techné: Research in Philosophy and Technology*, 3(3), 124-134.
- Lemke, J. (2005). Multiplying meaning: visual and verbal semiotics in scientific text. En J. R. Martin y R. Veel (Eds.), *Reading Science: Critical and Functional perspectives of discourses of science* (pp. 87-111). New York: Routledge.
- Liu, Y. (2011). Scientific literacy in secondary school chemistry: A multimodal perspective. PhD thesis. National University of Singapore, Singapore.
- Liu, Y. y Owyong, Y. S. M. (2011). Metaphor, multiplicative meaning and the semiotic construction of scientific knowledge. *Language Sciences*, 33(5), 822-834.
- Manghi, D. (2013). La mediación del profesor especialista para la alfabetización semiótica en el aula de matemática. En E. Moyano (Coord.), *Aprender ciencias y humanidades: una cuestión de lectura y escritura. Aportes para la construcción de un programa de inclusión social a través de la educación lingüística* (pp.199-229). Los Polvorines, Argentina: UNGS.
- Manghi, D., Torres, D. G., Urrutia, E. E., Martínez, C. M., Vega, P. R. y Morales, V. G. (2016). Leer para aprender a partir de textos multimodales: los materiales escolares como mediadores semióticos. *REXE-Revista de Estudios y Experiencias en Educación*, 12(24), 77-91.
- Martin, J. R. (2005). Literacy in Science: Learning to Handle Text as Technology. En M.A.K. Halliday y J.R. Martin, *Writing science: Literacy and Discursive Power* (p. 166-202). London: The Palmer Press.
- Martin, J. R. y Rose, D. (2008). *Genre relations. Mapping culture*. London: Equinox.
- Menéndez, S. M. (2016). Multimodalidad y estrategias discursivas: un abordaje metodológico. *Revista latinoamericana de estudios del discurso*, 12(1), 57-73.
- Moss, G., Natale, L. y Oteiza, T. (2009). El Lenguaje de los textos escolares, el aprendizaje, la ideología y la formación ciudadana. *Revista DELTA*, 25, 549-753.
- Moyano, E. I. (Coord.) (2013). *Aprender ciencias y humanidades: una cuestión de lectura y escritura. Aportes para la construcción de un programa de inclusión social a través de la educación lingüística*. Buenos Aires: Universidad Nacional de General Sarmiento.
- Parodi, G. (2010). Multisemiosis y lingüística de corpus: Artefactos (multi) semióticos en los textos de seis disciplinas en el corpus PUCV-2010. *RLA. Revista de Lingüística Teórica y Aplicada*, 48(2), 33-70.

- Prain, V. y Hand, B. (2016). Learning Science Through Learning to Use Its Languages. En B. Hand, M. McDermott y V. Prain (Eds.), *Using Multimodal Representations to Support Learning in the Science Classroom* (pp. 1-10). Switzerland: Springer International Publishing.
- Resnick, R., Halliday, D. y Krane, K. (1999). *Física. Volumen 2. Cuarta Edición. Versión ampliada*. México D.F.: CECSA.
- Serway, R. y Jewett, J. (2009). *Física para Ciencias e Ingeniería con Física Moderna. Volumen 2. Séptima edición*. México: Cengage Learning, S. A. de C. V.
- Tang, K. S. (2013). Instantiation of Multimodal Semiotic Systems in Science Classroom Discourse. *Language Sciences*, 37, 22-35.
- Tang, K. S., Delgado, C. y Moje, E. (2014). An integrative framework for the analysis of multiple and multimodal representations for meaning-making in science education. *Science Education*, 98, 305–326.
- Tang, K. S. y Moje, E. (2010). Relating multimodal representations to the literacies of science. *Research in Science Education*, 40, 81–85.
- Tipler, P. y Mosca, G. (2012). *Física 2: para la ciencia y la tecnología. Electricidad y magnetismo. (Volumen 2A)*. Sexta Edición. Barcelona: Reverté.
- Young, H. y Freedman, R. (2013). *Física Universitaria con Física Moderna. Volumen 2. Decimotercera Edición*. México: Pearson.
- Yore, L. D. y Hand, B. (2010). Epilogue: Plotting a Research Agenda for Multiple Representations, Multiple Modality, and Multimodal Representational Competency. *Research in Science Education*, 40(1), 93-101.
- Zang, C., Giacosa, N. y Chrobak, R. (2019). El contenido científico en libros de textos: una revisión en revistas de acceso libre. *Latin-American Journal of Physics Education*, 13(3), 3305, 1-23.