

# Conducción del calor en libros de texto universitarios

## Heat conduction in university textbooks

Carlos M. Silva<sup>1\*</sup>, Cintia N. Sposetti<sup>1</sup>, Gloria P. Colombo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo TIDCyT, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario, Av. Pellegrini 250, CP 2000, Rosario, Santa Fe, Argentina.

\*E-mail: [csilva@fceia.unr.edu.ar](mailto:csilva@fceia.unr.edu.ar)

### Resumen

En este trabajo realizamos una investigación en dos partes para analizar el abordaje de la transferencia de calor por conducción en seis libros de texto universitarios de uso frecuente. Primero, analizamos el contenido científico de los textos identificando un conjunto de variables valoradas en tres niveles. Luego, examinamos el uso didáctico de 32 ilustraciones sobre conducción de calor, utilizando una taxonomía estructurada en seis categorías. Encontramos que el tema se presenta de manera tecnicista y superficial en la mayoría de los casos, sin definir adecuadamente el estado estacionario ni el modelo microscópico de la conducción. Esto dificulta la comprensión del fenómeno como un proceso de no equilibrio termodinámico. Solamente un libro de texto dedica un capítulo completo al tema, pero aún requiere complementarse con otro texto para una comprensión más completa. Recomendamos a los profesores estructurar sus clases integrando el tema con la primera y segunda ley de la termodinámica para mejorar la riqueza conceptual.

**Palabras clave:** Conducción del calor; Estado estacionario; Universidad; Libros de texto; Ilustraciones.

### Abstract

In this work, we conducted a two-part investigation to analyze the approach to heat conduction in six commonly used university textbooks. First, we analyzed the scientific content of the texts by identifying a set of variables evaluated at three levels. Then, we examined the educational use of 32 illustrations on heat conduction, using a taxonomy structured into six categories. We found that the topic is presented in a technical and superficial manner in most cases, without adequately defining the steady state or the microscopic model of conduction. This hinders the understanding of the phenomenon as a nonequilibrium thermodynamic process. Only one textbook dedicates an entire chapter to the topic, but it still needs to be supplemented with another text for a more complete understanding. We recommend that teachers structure their classes by integrating the topic with the first and second laws of thermodynamics to enhance conceptual richness.

**Keywords:** Heat conduction; Steady state; University; Textbooks; Illustrations.

## I. INTRODUCCIÓN

Los libros de texto (LT) desempeñan un papel crucial en la educación, sirviendo como una de las principales herramientas didácticas para los profesores. Estos textos no sólo proporcionan contenido estructurado y accesible, sino que también moldean la forma en que los temas se abordan en el aula. Aunque el constructivismo ha promovido la diversificación de las fuentes de conocimiento, los LT siguen siendo fundamentales en la enseñanza, ya que orientan las propuestas educativas y se utilizan como material de estudio tanto en niveles universitarios como en educación secundaria. Como indican Zang y Giacosa (2022),

*En especial, interesa el rol que adquieren los LT universitarios, no solo por la influencia que tienen en las carreras universitarias propiamente dichas, sino porque [...] sobre estos recae una cuota adicional de responsabilidad, ya que sus*

*inadecuaciones pueden reproducirse en LT usados en los niveles educativos inferiores.* (Zang y Giacosa, 2022, p. 372)

En el ámbito del contenido científico, la investigación sobre LT ha revelado varias preocupaciones significativas. Se ha encontrado que muchos LT presentan contenido desactualizado, con numerosos errores conceptuales e inexactitudes, así como una gran cantidad de terminología científica específica acompañada de explicaciones superficiales de los conceptos básicos (Martins y Avelar Guimarães, 2002; Ocelli y Valeiras, 2013). Además, los modelos científicos a menudo se presentan de manera descontextualizada, y la falta de argumentaciones robustas en los textos sugiere una visión de la ciencia como un conjunto de hechos indiscutibles, más que como un proceso dinámico de investigación y debate (Ocelli y Valeiras, 2013). Este enfoque puede limitar la comprensión profunda de los fenómenos científicos por parte de los estudiantes y no fomenta el pensamiento crítico ni la comprensión de la naturaleza provisional del conocimiento científico.

Por otro lado, muchos trabajos de análisis de LT se centran en el uso didáctico de las ilustraciones que estos contienen. En esta línea de investigación, los estudios han señalado varias deficiencias. A pesar del diseño gráfico atractivo y la abundancia de ilustraciones, muchas de ellas sólo cumplen funciones decorativas y no están adecuadamente conectadas con el texto, lo que puede llevar a interpretaciones erróneas (Perales y Jiménez, 2002; Sposetti, Silva y Colombo, 2023). La falta de etiquetas verbales y la presencia de elementos distractores aumentan la complejidad y la polisemia de las representaciones gráficas, dificultando la correcta interpretación de los conceptos científicos representados (Jiménez y Perales, 2001; Ocelli y Valeiras, 2013). Además, estas ilustraciones a menudo atribuyen cualidades materiales a las magnitudes físicas, creando confusión entre los planos de representación realista y simbólica. También se observa una débil conexión entre las ilustraciones y el texto, lo que complica aún más la construcción de un modelo mental coherente de la información contenida en los LT (Perales y Jiménez, 2002).

El presente trabajo constituye parte de una investigación sobre la enseñanza de los fenómenos de transferencia de calor y otros fenómenos de la termodinámica del no equilibrio en el ciclo básico universitario. Estos fenómenos reales e irreversibles han sido dejados de lado en la enseñanza tradicional, mientras se enfatiza la termodinámica del equilibrio con un enfoque histórico centrado en las máquinas térmicas y los gases ideales (Bittencourt, 2007). Coincidiendo con este autor, en un trabajo anterior (Silva y Hamad, 2022), observamos que la presentación usual de la termodinámica en estos cursos se centra en situaciones de equilibrio termodinámico y procesos reversibles, con muy pocos temas fuera del equilibrio debido a su ausencia en los libros de texto y a la complejidad matemática que presentan (Silva y Hamad, 2022). Tradicionalmente, el único tema fuera del equilibrio que se aborda es la transferencia de calor, describiendo de manera somera los mecanismos de conducción, convección y radiación, y proporcionando ecuaciones para calcular la corriente calorífica en casos técnicos específicos, siempre en estado estacionario. Como afirmamos en el trabajo mencionado esta orientación al cálculo, desconectada del carácter irreversible del estado estacionario, hace que los estudiantes pierdan la oportunidad de ver las características generales de los procesos termodinámicos fuera del equilibrio, soslayando la importancia de la producción de entropía en los procesos irreversibles. Esta es una debilidad de la enseñanza tradicional, ya que, como afirman Solbes y Tarín (2008), la definición de energía debe incluir, además de su conservación, la transformación, transferencia y degradación. Si no se presenta la degradación a través de la producción de entropía, la concepción de energía que tendrán los estudiantes estará incompleta.

El objetivo de este nuevo trabajo es hacer un diagnóstico del abordaje que hacen los libros de texto universitarios sobre el tema de la conducción del calor. Realizamos una investigación en dos partes: primero, analizamos el contenido científico de los textos y, luego, el uso didáctico de las ilustraciones sobre conducción del calor. De esta manera, presentamos una visión integral de este tema que nos permita pensar en criterios y recomendaciones para su adecuado tratamiento en futuros materiales didácticos.

## II. MARCO TEÓRICO

Siguiendo la línea de pensamiento de Caldeira (2005), consideramos que los LT no deben contener incorrecciones científicas, prestando especial cuidado en el uso de analogías, tener profundidad conceptual, presentar los temas en un lenguaje claro y adecuado a los alumnos, contener ilustraciones correctas, legibles y bien integradas en el texto. Además es importante que las actividades incluidas en los LT promuevan una visión crítica de la Naturaleza de la Ciencia, ya que, como señala la autora, *“las creencias de los alumnos respecto a en qué consiste aprender ciencia determinan lo que aprenden”* (Caldeira, 2005, p. 175).

De nuestro anterior trabajo (Silva y Hamad, 2022) hemos seleccionado una serie de ideas marco para que el tema Conducción del calor se integre y aporte riqueza conceptual al resto de los temas de termodinámica. Estas ideas se pueden resumir en los siguientes puntos:

- La transferencia de calor puede ocurrir en *régimen transitorio* o en *estado estacionario*. Es complicado entender qué es el estado estacionario si no se ejemplifica cómo es un régimen transitorio.
- Los estados estacionarios fuera del equilibrio en la transferencia de calor se pueden estudiar mediante la hipótesis del equilibrio local. Gracias a esta hipótesis es posible definir la temperatura de manera puntual, en donde un punto en realidad hace referencia a una celda lo suficientemente pequeña como para tener una temperatura bien definida, pero también lo suficientemente grande como para estar mirando un número significativo de moléculas. De esta manera, en la conducción del calor, existe no solo una diferencia de temperatura entre los extremos del medio conductor, sino también un *gradiente térmico* que se puede calcular *punto a punto*. En el estado estacionario y cuando la sección del conductor es uniforme, este gradiente es constante, por lo que la temperatura varía linealmente en la dirección en la que se transmite el calor.
- Existe un paralelismo entre la conducción del calor en estado estacionario y otros fenómenos, como el de la dinámica de fluidos en estado estacionario o la circulación de corriente eléctrica en circuitos de corriente continua. Cuando se presentan estas analogías debe quedar en claro que en el caso de la conducción del calor no hay nada material circulando, y que la analogía está en que hay variables de estado localmente bien definidas que van variando su valor punto a punto: la temperatura en el caso de la conducción, la velocidad en la dinámica de fluidos y el potencial eléctrico en el caso de los circuitos de corriente continua.
- Para sostener un estado estacionario debe haber un flujo constante de energía entre el sistema y su entorno. La condición para que esto ocurra es que las temperaturas en los extremos del medio conductor sean fijas, lo cual puede lograrse colocando un foco térmico de cada lado (aunque hay otros métodos tecnológicos, para los cuales habrá que hacer una inversión energética).
- Durante un estado estacionario se produce continuamente entropía, que luego se desecha hacia el exterior, ya que la entropía es una variable de estado del medio conductor y debe permanecer constante en el estado estacionario. Este punto es particularmente importante para comprender que la energía que ingresa al sistema no es de la misma calidad que la que egresa, es decir que la energía se degrada (Lebon, Jou y Casas-Vázquez, 2008). Este punto es central a la hora de comprender el balance energético de la Tierra y los escenarios de cambio climático. Teniendo en cuenta esto, consideramos que, dentro de los LT, la sección de conducción del calor debe dialogar no solo con las secciones de convección y radiación sino también con los capítulos de *primera y segunda ley de la termodinámica*.

Además de estos puntos, a partir de una lectura preliminar de los LT incorporamos dos ideas que consideramos fundamentales:

- El modelo microscópico de conducción del calor más adecuado para la mayoría de los materiales sólidos es el de la transmisión de la energía de vibración de la red cristalina del material desde el extremo de mayor temperatura al de menor temperatura. Para el caso de los metales, a este modelo se le agrega el de los choques de los electrones libres contra la red. La conducción también existe en los fluidos, por las colisiones moleculares en estos, aunque esta ocurre en menor medida.
- El estado estacionario, tal como señalamos en otro trabajo (Colombo, Sposetti y Jardón, 2021), tiene la categoría ontológica de *proceso*, por lo que transcurre en el tiempo y, en particular, lo hace en un intervalo indefinido.

A partir de estas ideas marco, estructuramos nuestro análisis del contenido de los libros de texto.

### III. METODOLOGÍA

Analizamos una muestra de seis libros de texto de uso común en los cursos básicos universitarios y que son citados en los programas analíticos de los planes de estudio de las diferentes carreras de nuestra facultad. A cada LT analizado le asignamos un código (Cód.) que indicamos en la Tabla I.

**TABLA I.** Códigos asignados a los libros analizados.

Cód.	Libro de texto
A	Giancoli, D. C. (2008). <i>Física para ciencias e ingeniería. Volumen I</i> (4ª ed.). México: Pearson Educación.

B	Resnick, R., Halliday, D. y Krane, K. (2008). <i>Física</i> . Vol 1. (5ª ed.). México: Grupo Editorial Patria.
C	Serway, R. y Jewett, J. (2008) <i>Física para ciencia e ingeniería con Física Moderna</i> . Vol. 1. (7ª ed.) México: Cengage Learning.
D	Tipler, P. y Mosca, G. (2005). <i>Física para la Ciencia y la Tecnología</i> . Vol 1. (5ª ed.). España: Editorial Reverté.
E	Young, H. y Freedman, R. (2013). <i>Física Universitaria con Física Moderna</i> . Vol 1. (13ª ed.). México: Pearson.
F	Lea, S. y Burke, J. (1999). <i>Física. La naturaleza de las cosas</i> . Vol. 1. México: International Thomson Editores.

Realizamos una prelectura de estos libros para identificar de forma exploratoria cómo se presentan las ideas marco descritas en nuestro marco teórico. A continuación, la investigación se estructuró en dos partes: un análisis del contenido científico de los textos y un análisis del uso didáctico de las ilustraciones. Para la primera parte identificamos un conjunto de variables consensuadas entre los investigadores a partir de la prelectura basándonos en las ideas marco. A estas variables las valoramos en tres niveles (1, 2 y 3), descriptos en Tabla II.

**TABLA II.** Descripción de niveles de las variables escogidas para el análisis del contenido científico de los textos.

	1	2	3
V1) Estado estacionario	No se menciona o se menciona sin definir	Se define superficialmente o de manera confusa	Se define adecuadamente
V2) Gradiente térmico	No se menciona o se presenta únicamente como el cociente de variaciones finitas ( $\Delta T/\Delta x$ )	Se comenta la forma diferencial pero no se ejemplifica	Se muestra en forma diferencial y se ejemplifica
V3) Modelo microscópico	Se describe de manera que induce a confusiones	Se describe de manera incompleta	Se describe adecuadamente
V4) Vinculación con leyes de la termodinámica	No se vincula	Se retoma el tema al tratar la primera ley	Se retoma el tema al tratar la segunda ley

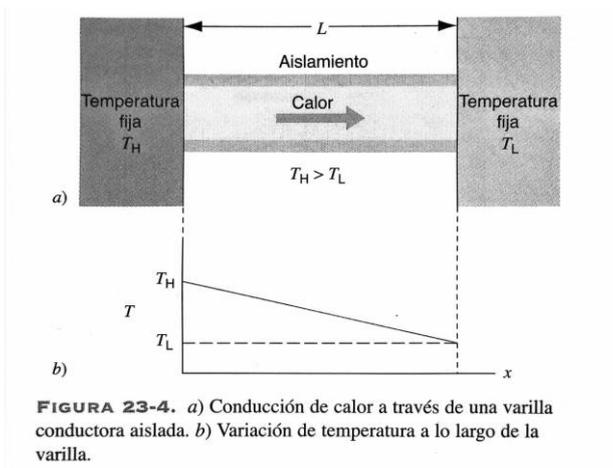
Para la segunda parte utilizamos una taxonomía elaborada por Perales y Jiménez (2002) que consta de seis categorías, que aplicamos sin alteraciones. Las mismas se describen en la Tabla III. En la Figura 1 presentamos un ejemplo de esta aplicación.

**TABLA III.** Categorías de análisis para el uso didáctico de las ilustraciones.

Función de la imagen en la secuencia didáctica	Para qué se emplean las ilustraciones, en qué pasajes del texto se sitúan, etc.: <i>Evocación, Definición, Aplicación, Descripción, Interpretación, Problematización</i>
Iconicidad	Qué grado de complejidad poseen las ilustraciones <i>Fotografía, Dibujo figurativo, Dibujo figurativo + signos, Dibujo esquemático, Dibujo esquemático + signos, Descripción en signos normalizados</i>
Funcionalidad	Qué se puede hacer con las ilustraciones: <i>Inoperantes, Operativas elementales, Sintácticas</i>
Relación con el texto principal	Referencias mutuas entre texto e imagen. Ayudas para la interpretación: <i>Connotativas, Denotativas, Sinópticas</i>
Etiquetas verbales	Textos incluidos dentro de las ilustraciones: <i>Sin etiquetas, Nominativas, Relacionales</i>

Contenido científico que la sustenta

Preguntas tomadas de las ideas marco sobre conducción del calor:  
 ¿Indica en qué régimen se está produciendo la conducción?  
 ¿Señala explícitamente el gradiente térmico en el interior del sistema?  
 ¿Intenta explicar el fenómeno a nivel microscópico?



**FIGURA 1.** Ejemplo de aplicación de la taxonomía de Perales y Jimenez (2002). Función de la imagen: interpretación; iconicidad: dibujo esquemático + signos; funcionalidad: sintáctica; relación con el texto principal: sinóptica; etiquetas verbales: nominativa. La ilustración señala explícitamente el gradiente térmico en el interior del sistema con un gráfico cartesiano. Tomada de Resnick, Halliday y Krane (2008).

Analizamos 32 ilustraciones contenidas en los textos mencionados. Para elaborar las preguntas de la última categoría de la taxonomía pensamos en qué aspectos las ilustraciones podrían ayudar a que los estudiantes construyan modelos mentales adecuados del fenómeno.

#### IV. RESULTADOS

##### A. Análisis del contenido científico de los textos

En la Tabla IV mostramos los resultados hallados para las distintas variables del análisis del contenido.

**TABLA IV.** Resultados del análisis del contenido científico de los textos.

LT	V1) Estado estacionario			V2) Gradiente térmico			V3) Modelo microscópico			V4) Vinculación con leyes de la termodinámica		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
A	x				x			x			x	
B			x			x	x				x	
C		x			x				x			x
D		x		x				x			x	
E	x				x				x		x	
F			x			x	x					x
<b>Total:</b>	2	2	2	1	3	2	2	2	2	4	1	1

Para la variable V1, podemos decir que la mayoría no hace un tratamiento en profundidad del estado estacionario, sino que se limitan a dar una definición operativa que luego pueden usar en resolución de problemas del tipo de conducción a través de una pared compuesta. Un caso llamativo es el de E donde la primera vez que se menciona el régimen es en un problema resuelto: “En estado estable [sic], debe pasar el mismo calor a través de los dos materiales, por lo que la corriente de calor  $H$  debe ser la misma en ambos” (Young y Freedman, 2013, p. 572). El LT A, por su parte, no menciona en ningún punto en qué régimen valen las ecuaciones que plantea. Este tipo de problemas cerrados no promueven, tal como señala Caldeira (2005), una visión crítica de la Naturaleza de la Ciencia. El LT F es el que trabaja el tema en mayor profundidad ya que incluye la hipótesis de equilibrio local y describe adecuadamente el comportamiento de la temperatura punto a punto en diferentes situaciones.

Para la variable V2, observamos que solo dos LT definen el gradiente térmico y lo utilizan en ejemplos concretos. El resto solo lo comenta superficialmente, en una oración, y en el caso de D solo define el gradiente como la relación entre la diferencia de temperaturas entre los extremos del material y su espesor.

En el caso de la variable V3, consideramos que dos LT son confusos porque inducen a pensar que la conducción es un mecanismo de transporte de energía que ocurre únicamente mediante colisiones de electrones libres; por ejemplo en F:

*Para ser específicos describiremos la conducción de calor en los metales, aunque las ideas básicas son parecidas en todas las sustancias. La energía es transportada a través de una superficie en la coordenada  $x$ , principalmente por electrones que se mueven a través del metal. (Lea y Burke, 1999, p. 705)*

En el LT A, el modelo microscópico de la conducción se presenta: “La conducción de calor en muchos materiales se puede ver como un transporte mediante colisiones moleculares” (Giancoli, 2009, p. 515) pero el autor no menciona las diferencias que existen entre sólidos y fluidos, por lo que consideramos que la presentación es incompleta.

Para la última variable, V4, nos parece importante señalar que este análisis no se puede considerar separado del lugar que ocupa el tema *Transmisión de calor* dentro del LT. En este sentido, podemos señalar que el LT que presenta este tema de manera más completa es el F, y esto se justifica al dedicarle un capítulo completo al tema. Dentro de este capítulo, sus autores pueden discutir en detalle que la conducción (así como la convección y la radiación) ocurren fuera del equilibrio térmico, por lo que resulta natural que en el siguiente capítulo, llamado “Entropía y segunda ley de la termodinámica”, puedan introducir el problema de la producción de entropía en este tipo de procesos y realizar cálculos: “La conducción de calor es otro proceso con que se crea entropía. La irreversibilidad de este proceso explica por qué el calor va de lo caliente a lo frío” (Lea y Burke, 1999, p. 733). El LT C, mientras tanto, realiza una introducción temprana de la primera ley en el capítulo de mecánica. Luego, en el capítulo 20 vuelve a esta primera ley y luego describe los mecanismos de transferencia de calor. El planteo que realiza es integrador, ya que define a  $\mathcal{P}$  como la rapidez de transferencia de energía por calor y la llama *potencia*, en contraposición con la mayoría de libros que le llaman  $H$ , símbolo que no vuelven a utilizar fuera del tema transferencia de calor. Este texto también menciona en el capítulo de entropía que la transferencia de calor por conducción es irreversible, aunque no utiliza las ecuaciones de conducción, por lo que consideramos que no termina de integrar el tema conducción con la segunda ley de la termodinámica. Llama especialmente la atención el LT D ya que el tema se presenta en el capítulo final de termodinámica, pero sin embargo no aprovecha esta oportunidad para vincularlo con los principios de la termodinámica. Este último LT también cambia la notación más extendida, definiendo  $I=Q/\Delta t$  como *corriente térmica*. Este nombre puede inducir a un error conceptual ya que no contribuye a diferenciar calor de temperatura.

Para finalizar este análisis del contenido científico de los textos nos ha llamado la atención que no se profundiza en las analogías existentes con otros temas. Por ejemplo, solamente el LT A comenta, en una nota al pie de página, la comparación con las relaciones que describen el gradiente de concentración para el caso de la difusión y con el gradiente de presión para el caso del flujo de fluidos a través de una tubería, advirtiendo que para el caso del calor ninguna sustancia fluye: es energía lo que se transfiere. Por otro lado, todos estos LT introducen una *resistencia térmica* con fines de aplicación técnica pero no la definen de la misma manera: algunos consideran que el área forma parte de esta magnitud y otros no. A nuestro parecer, la riqueza conceptual que aportaría esta definición es la de entender el proceso de transferencia de calor como una relación entre una *fuerza* del proceso, que en este caso es el gradiente de temperaturas, y un *flujo*, que en este caso es el flujo de energía por el mecanismo de conducción. De esta manera se unifica la notación con otros fenómenos de transporte como hacen los LT especializados (Lebon, Jou y Casas-Vázquez, 2008). Ninguno de los LT analizados discuten la relación entre fuerza y flujo de esa manera.

En síntesis, las cuatro variables analizadas nos muestran que la mayoría de los LT no abordan el tema con una profundidad conceptual adecuada, presentan algunas incorrecciones desde el punto de vista científico (como un modelo microscópico inadecuado) y sin actividades que promuevan una visión crítica de la Naturaleza de la Ciencia.

## B. Análisis del uso didáctico de las ilustraciones

En la Figura 2 presentamos los resultados correspondientes al análisis de las ilustraciones mediante la taxonomía descrita en la tabla III. La gran mayoría de las ilustraciones se usan en las secuencias didácticas como aplicaciones. En cuanto a la iconicidad y funcionalidad de las mismas, se destacan aquellas que representan esquemas de alguna situación, que incluyen algún tipo de signo (como flechas para indicar la dirección del flujo de calor) y que no requieren una gran alfabetización gráfica por parte de los estudiantes para entenderlas, por lo que son de operativas elementales. La relación de las ilustraciones con el texto principal es mayoritariamente denotativa, lo que quiere decir que si bien hay una correspondencia entre ambos esta se limita a citas y descripciones de las mismas y, las etiquetas verbales presentes en las ilustraciones son en su mayoría nominativas, las cuales identifican mediante letras o palabras algunos elementos de la ilustración.

En cuanto al análisis del contenido científico que las sustenta observamos una ausencia de imágenes de un modelo microscópico de conducción del calor. Además es notorio que algunos LT no presentan en sus ilustraciones el gradiente de temperaturas en el medio conductor de ninguna manera, ya sea con un gráfico cartesiano o con un gradiente de colores. Esto dificulta que un lector inexperto comprenda que el mecanismo de conducción es un fenómeno de no equilibrio. Todo esto se corresponde con los resultados del análisis del contenido científico de los textos. La falta de ilustraciones que intenten dar cuenta de un modelo microscópico para la conducción del calor así como del gradiente térmico necesario para dicho proceso, es un reflejo de lo que ocurre en el texto principal.

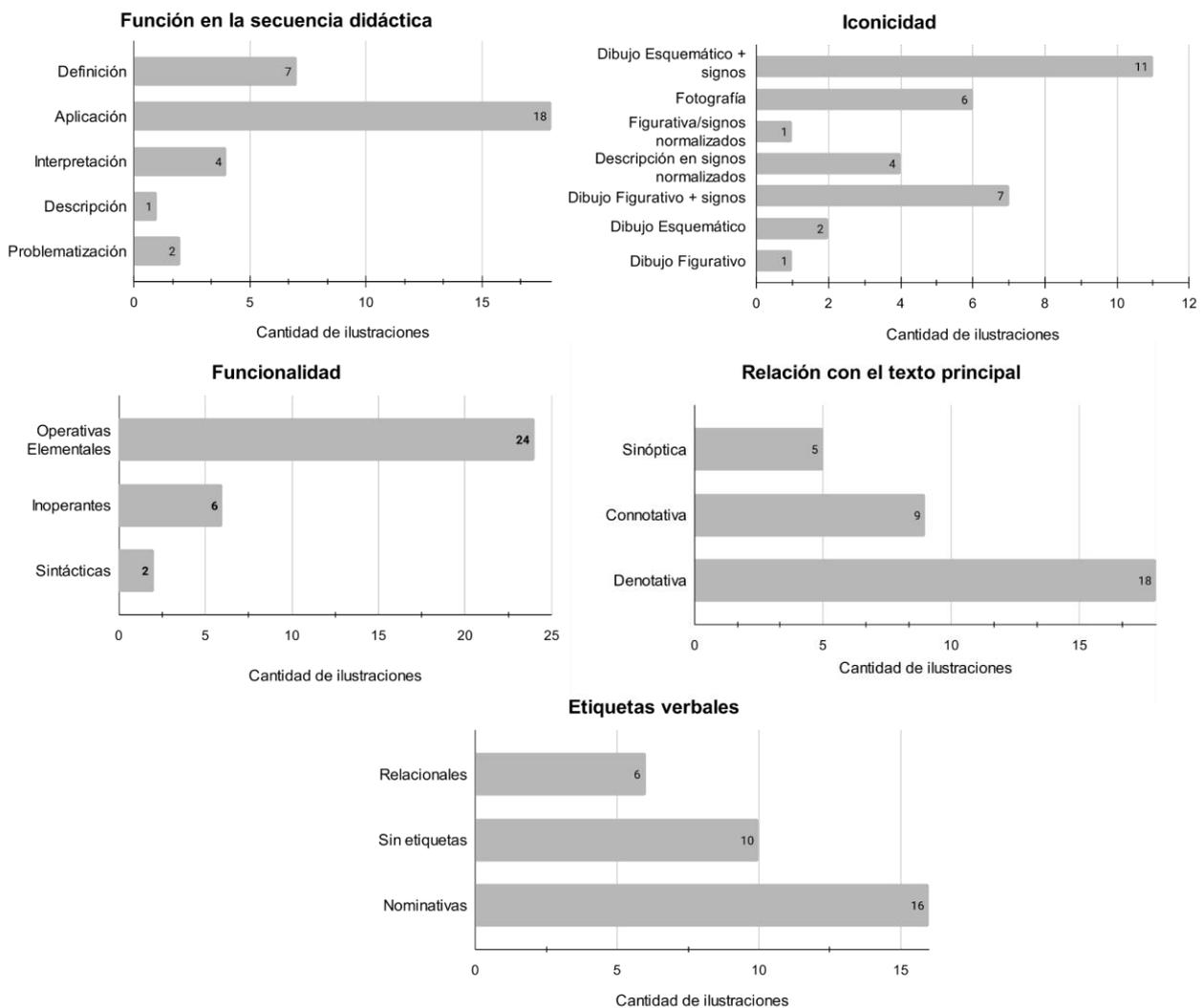


FIGURA 2. Resultados del análisis de las ilustraciones utilizando la taxonomía de Perales y Jimenez (2002).

## V. CONCLUSIONES

Este trabajo nos ha permitido realizar un diagnóstico del abordaje de la transferencia de calor por conducción en los LT de uso frecuente en el ciclo básico universitario. A partir de este estudio creemos importante destacar que:

- El tema se presenta fundamentalmente de manera tecnicista, centrada en problemas de aplicación numéricos de solución única. Esto se observa tanto en el análisis del contenido científico del texto como en la funcionalidad de las ilustraciones. Esta presentación tecnicista no promueve una visión crítica de la Naturaleza de la Ciencia.
- En la mayoría de los casos el tema se presenta superficialmente, siendo la excepción el LT F que dedica un capítulo completo al tema transferencia de calor.
- Llama la atención que en algunos textos no se defina el estado estacionario, con lo cual no se explicitan las condiciones de validez de las ecuaciones planteadas.
- A partir de los análisis realizados pensamos que un lector inexperto difícilmente comprenderá que el proceso de conducción es un fenómeno de no equilibrio termodinámico. Fundamentamos esto en la falta de énfasis en ilustrar que no hay una única temperatura definida en el material conductor durante el estado estacionario.
- La falta de ilustraciones del modelo microscópico de la conducción no contribuye a que un estudiante pueda construir un modelo mental adecuado de cómo ocurre el proceso.
- En algunos LT encontramos un modelo microscópico incompleto o que pueda llevar a la confusión de que el mecanismo de conducción debido al transporte de energía por electrones libres, que ocurre en los metales, es válido para todos los materiales.
- El tema se trata de manera marginal en los LT, con contadas excepciones, sin vinculación con la primera y segunda ley de la termodinámica.

En base a estos análisis, sugerimos tener en cuenta una serie de recomendaciones para el adecuado tratamiento del tema en las aulas. En primer lugar, el LT que mejor se ajusta a las ideas marco expresadas en la sección II es el F, pero debe complementarse con otros materiales didácticos para presentar un modelo microscópico adecuado.

En segundo lugar, aún cuando el nivel matemático necesario para resolver las ecuaciones de la conducción del calor puede ser avanzado para estudiantes del ciclo básico, creemos que complementar las clases con la utilización de simulaciones numéricas puede ayudar a visualizar el régimen transitorio. Pensamos que esto es fundamental para poder entender el significado del estado estacionario en profundidad. Un ejemplo de este tipo de simulaciones que hemos utilizado en nuestras clases, pensadas para el ciclo básico de Ciencias Naturales e Ingeniería está disponible en: [https://colab.research.google.com/drive/10luMNecz2N\\_2StLkSTPnzD9zrV3Cb4Gb?usp=drive\\_link](https://colab.research.google.com/drive/10luMNecz2N_2StLkSTPnzD9zrV3Cb4Gb?usp=drive_link). Por último, el diseño de secuencias didácticas debe incluir problemas abiertos, escasos en los LT, y este tipo de herramientas lo facilitan.

## REFERENCIAS

Bittencourt, E. (2007). *Thermodynamics of Irreversible Processes and the Teaching of Thermodynamics in Chemical Engineering*. Presentado en 5th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology, 29 de Mayo-1 de Junio, Tampico, México.

Caldeira, M. (2005). Los libros de texto de ciencias: ¿son como deberían ser? *Tarbiya: Revista de Investigación e Innovación Educativa del Instituto Universitario de ciencias de la Educación*, 36, 167-184. Recuperado de <https://revistas.uam.es/tarbiya/article/view/7240>

Colombo, G. P., Sposetti, C. N. y Jardon, A. (2021). Energía, ¿substancia o propiedad? Una investigación en los textos de física. *Revista de Enseñanza de la Física*, 33(extra), 181-186. Recuperado de <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/35638>

Giancoli, D. C. (2008). *Física para ciencias e ingeniería. Volumen 1. (4ta ed.)*. México: Pearson Educación.

Jiménez, J. de D. y Perales, F. J. (2001). Aplicación del análisis secuencial al estudio del texto escrito e ilustraciones de los libros de física y química de la ESO. *Enseñanza de las Ciencias Revista de investigación y experiencias didácticas*, 19(1), 3-19. doi: 10.5565/rev/ensciencias.4010

Lea, S., y Burke, J. (1999). *Física. La naturaleza de las cosas. Vol. 1*. México: International Thomson Editores.

- Lebon, G., Jou, D. y Casas-Vazquez, J. (2008). *Understanding non-equilibrium thermodynamics: Foundations, applications, frontiers*. Berlín, Alemania: Springer.
- Martins, E. y Avelar Guimarães, G. M. (2002). As concepções de natureza nos livros didáticos de ciências. Ensaio - Pesquisa Educação em. *Ciências*, 4(2), 93–106.
- Occelli, M. y Valeiras, N. (2013). Los libros de texto de ciencias como objeto de investigación: una revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias Revista de investigación y experiencias didácticas*, 31(2), 133–152. doi: 10.5565/rev/ec/v31n2.761
- Perales, F. J. y Jiménez, J. de D. (2002). Las ilustraciones en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. Análisis de libros de texto. *Enseñanza de las Ciencias Revista de investigación y experiencias didácticas*, 20(3), 369–386. doi: 10.5565/rev/ensciencias.3954
- Resnick, R., Halliday, D., y Krane, K. (2008). *Física*. Vol 1. (5ª ed.). México: Grupo Editorial Patria.
- Serway, R. y Jewett, J. (2008) *Física para ciencia e ingeniería con Física Moderna*. Vol. 1. (7ma ed.). México: Cengage Learning.
- Silva, C., y Hamad, I. (2022). Una investigación sobre la enseñanza de la termodinámica fuera del equilibrio en un curso básico universitario. *Revista de Enseñanza de la Física*, 34(extra), 337–344. Recuperado de <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/39825>
- Solbes, J. y Tarín, F. (2008). Generalizando el concepto de energía y su conservación. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 22, 155-180. doi: 10.7203/dces..2415
- Sposetti, C. N., Silva, C. M. y Colombo, G. P. (septiembre 2023). *Análisis de las ilustraciones de fem de movimiento en los libros de texto universitarios*. Presentado en VI Jornadas de Enseñanza e Investigación Educativa en el campo de las Ciencias Exactas y Naturales. La Plata, Argentina. Recuperado de <http://jornadasceyn.fahce.unlp.edu.ar/vi-jornadas-2023/posters/ponencia-230826110501607250>
- Tipler, P. y Mosca, G. (2005). *Física para la Ciencia y la Tecnología*. Vol 1. (5ta ed.). España: Editorial Reverté.
- Young, H. y Freedman, R. (2013). *Física Universitaria con Física Moderna*. Vol 1. (13va ed.). México: Pearson.
- Zang, C. M. y Giacosa, N. S. (2022). El tratamiento de aspectos transversales sobre la energía en libros de texto de física universitaria. *Revista de Enseñanza de la Física*, 34(extra), 371–379. Recuperado de <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/39831>