

# Análisis del tratamiento de “oscilaciones electromagnéticas libres” en libros de texto universitarios

Analysis of the treatment of “free electromagnetic oscillations” in university textbooks

REVISTA  
DE  
ENSEÑANZA  
DE LA  
FÍSICA

Norah Giacosa<sup>1</sup>, Ramiro Galeano<sup>1</sup>, Pablo Wagner Boián<sup>1</sup>,  
Mariana Boari<sup>1</sup>, Alejandro Such<sup>1</sup> y Claudia Zang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales, Universidad Nacional de Misiones. Félix de Azara 1552, CP 3300, Posadas, Misiones. Argentina.

E-mail: norahgiacosa@gmail.com

## Resumen

Se muestran resultados de un estudio descriptivo de casos múltiples. Se examinó, mediante el análisis de contenido, la presentación del tema “oscilaciones electromagnéticas libres” (OEL) en diez libros de texto universitarios de uso frecuente en Argentina. Se encontró que el tema, a juzgar por la jerarquía otorgada, es importante. La secuencia propuesta, en términos generales, es homogénea, no así el tratamiento matemático. Las expresiones verbales relativas a la frecuencia angular, las analogías y las aplicaciones a la vida cotidiana son escasas. Los recursos simbólicos que describen las variaciones temporales de carga, corriente y energía son mayores en el tema OEL no amortiguadas que en las amortiguadas. Prevalen problemas resueltos cerrados y cuantitativos. Se detectaron errores conceptuales en dos ejemplares. Se concluye que si bien algunos aspectos se tratan adecuadamente, existen otros que merecerían mayor elaboración.

**Palabras clave:** Oscilaciones electromagnéticas libres; Libros de texto; Física; Universidad.

## Abstract

The results of a multiple case descriptive study are shown. The presentation of the “free electromagnetic oscillations” (FEO) topic, in ten frequently used university textbooks in Argentina, was examined by content analysis. This topic was found to be important, judging by the granted hierarchy. In general terms, unlike the mathematical treatment, the suggested sequence was homogeneous. The verbal expressions related to angular frequency, the analogies and the daily life applications were scarce. The symbolic resources that describe the temporal variations of charge, current and energy were greater in non-damped FEO than in damped ones. Closed and quantitative solved problems predominated. Conceptual errors were found in two copies. It is concluded that, even though there are some aspects that were properly treated, there are still some others that needed further elaboration.

**Keywords:** Free electromagnetic oscillations; Textbooks; Physical; University.

## I. INTRODUCCIÓN

El contenido Oscilaciones electromagnéticas libres (OEL) está presente en el ciclo básico de la mayoría de las carreras científico-tecnológicas que se ofrecen en la República Argentina. El propósito de su enseñanza es que los estudiantes puedan diferenciar que los voltajes y las corrientes tanto en un circuito de una sola malla que contiene un inductor y un capacitor ( $LC$ ) como en un circuito de una sola malla que contiene una resistencia, un inductor y un capacitor ( $RLC$ ) oscilan con una frecuencia característica, asimismo se espera que puedan distinguir que las primeras se mantienen en el transcurso del tiempo en cambio las segundas se amortiguan. El aprendizaje de los fenómenos transitorios que acontecen en circuitos eléctricos es dificultoso para los estudiantes universitarios (Benjumea y Revuelta, 2001), de allí la importancia que tienen las actividades áulicas que proponen los docentes, y entre ellas, las que involucran el uso del libro de texto (LT) (Romagnoli y Massa, 2016).

El LT es un marco de referencia insoslayable tanto para el profesor como para el estudiante (Cordero y Flores, 2007) y una de las decisiones curriculares más importantes que toman los profesores (Campana-

rio y Otero, 2000). Por lo tanto, la recomendación de LT a los estudiantes debería contemplar previamente un análisis crítico y una selección reflexiva.

Abd-El-Khalick y colaboradores (2017) sostienen que la industria editorial estadounidense, fundamentalmente la dedicada a la comercialización de LT de física, química y biología, tiene un gran impacto en la calidad de la educación científica no sólo de los estudiantes de Estados Unidos sino también de estudiantes de otras naciones. De allí que sugieren, tal como propone la Asociación Americana para el Avance de la Ciencia, promover el análisis exhaustivo de los LT y enviar las recomendaciones directamente a los autores en lugar de las editoriales, las cuales a juicio de los autores citados, son corporaciones prácticamente impenetrables.

Por lo expuesto, el propósito de esta investigación es describir cómo se presenta el contenido relacionado con las OEL en un conjunto de LT de física universitaria de uso habitual en la Argentina. No se pretende comparar un LT con un libro ideal, sino tratar de mostrar una descripción que posibilite identificar las fortalezas y las debilidades que colaborarían o inhibirían la comprensión lectora de sus destinatarios.

## II. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

Los LT para aprender ciencia en general, y física en particular, representan el discurso público aceptado por los docentes. En ellos se presentan ciertos contenidos que se estiman importantes para que los estudiantes desarrollen la capacidad de explicar los hechos del mundo real, y entre ellos, los fenómenos físicos. Desde la teoría antropológica de lo didáctico que propone Yves Chevallard (2013) son una *apuesta didáctica* (“*enjeu didactique*”) concretada en una “obra”, es decir en cualquier objeto material o inmaterial creado por la acción humana con el fin de lograr ciertos propósitos.

Los LT no son literatura específica de ciencia, son obras construidas con modelos didácticos adaptados de los modelos científicos (Pandiella y otros, 2004) cuyo principal propósito es que los estudiantes se apropien del lenguaje de la ciencia y compartan significados. Tal como indica Jay Lemke (1997) aprender a hablar ciencia es un proceso semejante al aprendizaje de una lengua extranjera.

Los LT de física, según sostienen Alexander y Kulicowich (1994), emplean un lenguaje especializado que incorpora alternativamente un *sistema lingüístico* y un *sistema simbólico*. El primero alude a las expresiones verbales en tanto que el segundo remite a las ecuaciones, los gráficos, los esquemas, los diagramas, entre otros. Paralelamente, en estos libros se emplea la matemática como herramienta privilegiada tanto para expresar las leyes que describen los fenómenos como para formular los modelos explicativos y predictivos. Al respecto, Márquez y Prat (2005) afirman que este tipo de lenguaje y la manera en que se presenta la ciencia en los LT pueden comunicar a los lectores una visión que se aleja de sus intereses, lo cual provocaría una desconexión entre las concepciones e inquietudes personales respecto al mundo y los contenidos que se exhiben en ellos.

Otras publicaciones señalan que en los libros escolares de ciencia prevalecen enunciados declarativos y explicaciones no justificadas que se limitan a informar al lector ignorando los problemas y/o controversias que los suscitaron y el contexto histórico donde se originaron (Astolfi, 1988, Strube, 1989, Rodríguez y Níaz, 2004, Méndez y Slisko, 2014). Estas características, sumadas al carácter contraintuitivo, o no natural, de la actividad científica y la larga tradición educativa –predominantemente reproductiva, por sobre la enseñanza comprensiva– serían los principales motivos por los cuales los estudiantes no comprenden la ciencia escolar, no cuestionan la palabra del profesor ni el contenido de los LT (Pozo y Gómez Crespo, 2010, Sanmartí y otros, 1999).

Por otro lado, una característica de la actual sociedad del conocimiento es la abundancia de imágenes que circulan en diversos ámbitos. La excesiva cantidad de información visual ha afectado no sólo las preferencias perceptivas de los jóvenes sino también sus hábitos cotidianos. La industria editorial ha sabido aprovechar estas tendencias imponiendo LT con gran cantidad imágenes que desplazan el texto escrito (Fanaro y Otero, 2007). Los LT de física universitaria también evolucionaron en este mismo sentido, pero según sostiene María Luisa Ortega (2002) las representaciones visuales que se exhiben hoy, son “altamente convencionales” y en algunos casos “casi rituales” provenientes del ámbito de la filosofía natural del los siglos XVII y XVIII. La mayoría de ellas estaban dedicadas a la representación de condiciones experimentales que facilitarían su reproductividad, la idealización de los experimentos y sus resultados con propósitos didácticos, y el desarrollo de imágenes teóricas (diagramas y gráficos) que aspiraban a cuantificar los fenómenos físicos.

En esta investigación se asume, tal como propone García (2005), que la gráfica es una representación visual elaborada a partir de un conjunto de datos y basada en la noción de función matemática. Su objetivo es poner de manifiesto, utilizando un conjunto de convenciones y formalismos, la relación que guardan entre sí los datos. Como posee un alto nivel de abstracción, su lectura es más compleja que la de otras representaciones, por ejemplo esquemas o dibujos, y requiere por parte del lector, de un dominio de códi-

gos específicos para su decodificación e interpretación de fenómenos y/o procesos. Los gráficos cartesianos (GC), aquellos que utilizan como sistema de referencia ejes ortogonales entre sí, constituyen una parte medular del circuito comunicativo en ciencias y del trabajo experimental.

Los GC pueden analizarse, según este autor, teniendo en cuenta tres variables: a) uso científico, b) uso didáctico y c) volumen de la información. El uso científico se refiere al uso que generalmente se hace de los GC en la ciencia. Éstos pueden ser: *uso científico teórico*, cuando aluden a un modelo abstracto que sirve para representar el comportamiento ideal de las variables relacionadas con un determinado fenómeno y *uso científico experimental*, si se emplean para representar un grupo de datos de un fenómeno específico o particular. Respecto al uso didáctico, el cual entiende como la intención comunicativa con la cual se presenta el GC, sugiere las siguientes categorías: *uso didáctico expositivo* (cuando se emplea como recurso didáctico para exponer conceptos o principios), *uso didáctico instrumental* (cuando se usa como herramienta en el marco de trabajos prácticos para la construcción de significados) y *uso didáctico problemático* (cuando se lo utiliza como instrumento para proponer interrogantes o situaciones problemáticas). Por último, para el *volumen de la información* es decir la cantidad de información dentro o fuera del gráfico, propone diversos elementos a tener en cuenta. En el interior del GC sugiere identificar elementos tales como: escalas, datos dentro del espacio del gráfico, título, ecuaciones, datos numéricos en los ejes, íconos, términos, inclusión de signos o símbolos, entre otros. Fuera del GC estima conveniente reconocer los siguientes elementos comunicativos: referencias explícitas a GC, inclusión de prácticas científicas a la elaboración de la gráfica (montajes experimentales, tablas de datos, etc.), diferenciación explícita de las variables, referencias a conceptos cotidianos relacionados con la representación gráfica, etc.

Entre las numerosas publicaciones que han tomado los LT como objeto de estudio, se pueden mencionar trabajos dedicados a temas puntuales tales como: inducción electromagnética (Guisasola y otros, 2013), oscilaciones electromagnéticas forzadas (Giacosa y otros, 2014), flujo del campo eléctrico (Pocoví y Collivadino, 2014), el experimento de gota de aceite (Rodríguez y Níaz, 2004), movimiento oscilatorio armónico simple (Marino y otros, 2015), fenómenos luminosos (Romagnoli y Massa, 2016), peso (Taibu y otros, 2015), efecto fotoeléctrico (Níaz y otros, 2010), teoría especial de la relatividad (Arriaseq y otros, 2016), entropía (Farina y otros, 2016), hipótesis simplificaciones en el área de mecánica (Marino y otros, 2016) entre otros.

Asimismo, existen reportes de investigaciones centradas en los problemas resueltos en LT universitarios (Concari y Giorgi, 2000, Pandiella, 2003), las imágenes (Fanaro y Otero, 2007, Bungum, 2008), las ecuaciones matemáticas (Anjos y otros, 2015), los gráficos cartesianos (García, 2005, Idoyaga y Lorenzo, 2014), la naturaleza de la ciencia (Abd-El-Khalick y otros, 2017), las analogías (da Rosa y otros, 2016), etc. Si bien hay trabajos sobre la recreación de experimentos históricos relacionados con el electromagnetismo (Martín y otros, 2016), el uso de simulaciones para el estudio de circuitos transitorios (Benjumea y Revuelta, 2001) y la difusión de laboratorios remotos destinados al estudio de circuitos eléctricos (Marchisio y otros, 2016), no tienen como propósito analizar la presentación del tema en LT universitarios.

### III. METODOLOGÍA

Se seleccionó un conjunto de LT de física universitaria que propusieran el estudio del tema oscilaciones electromagnéticas libres en idioma español. Dada la imposibilidad de analizar todos los ejemplares disponibles en Argentina, se eligieron diez de ellos que: estuvieran citados en distintos programas analíticos vigentes en la Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales (UNaM), el autor no se repitiera y su edición fuera lo más actual posible. La muestra intencional de LT y su respectiva codificación se muestran en la tabla I.

Se consideró que la metodología más adecuada para el propósito de esta investigación se encuadra en el llamado estudio descriptivo de casos múltiples. Se empleó el análisis de contenido (Bardín, 1996, Ander-Egg, 2010) para examinar las secciones de interés, las cuales no incluyeron las preguntas y ejercicios propuestos al final del capítulo. El estudio se realizó en dos etapas utilizando categorías elaboradas *a priori* y surgidas del propio análisis. En la primera de ellas se incluyó: *jerarquía otorgada al estudio de las OEL* (capítulo, tema, sub-tema), *secuencias didácticas* (en la obra y en el desarrollo del tema), *sistema lingüístico*, *sistema simbólico* (ecuaciones y gráficos cartesianos), *analogías*, *aplicaciones a la vida cotidiana* y *problemas resueltos*. En la segunda etapa, iniciada a partir de la identificación de errores conceptuales, se incluyó la categoría *imprecisiones*. El análisis de las ediciones originales en idioma inglés posibilitó diferenciarlas en: *error de traducción* y *error de los autores*.

**TABLA I.** Libros de textos analizados y código asignado.

<b>Código</b>	<b>Libro de texto</b>
T1	Alonso, E. y Finn, E. (1976) <i>Física. Vol. II Campos y ondas</i> . Barcelona: Fondo Educativo Interamericano S.A.
T2	Bauer, W. y Westfall, G. (2011) <i>Física para Ingeniería y Ciencias con Física moderna. Vol. 2</i> . 1° Ed. México: McGraw Hill.
T3	Gettys, E., Keller, F. y Skove, M. (2005) <i>Física para Ciencias e Ingeniería. Tomo II</i> . México: McGraw Hill.
T4	Giancoli, D. (2009) <i>Física para Ciencias e Ingeniería con Física moderna. Vol. II</i> . 4 <sup>ta</sup> Ed. México: Pearson Educación
T5	Halliday, D., Resnick, R. y Krane, K. (1999). <i>Física. Vol. 2</i> . 4 <sup>ta</sup> . Ed en inglés. 3° en español. México: Compañía Editorial Continental.
T6	McKelvey, J. y Grotch, H. (1981) <i>Física para ciencias e ingeniería. Tomo II</i> . 1 <sup>ra</sup> . Ed. México: Harla S.A.
T7	Serway, R. y Jewett, J. (2009) <i>Física para ciencia e ingeniería con Física Moderna. Vol. 2</i> . 7 <sup>ma</sup> . México: Ed. Cenage Learning Editores S.A.
T8	Tipler, P. (1993) <i>Física. Tomo 2</i> . 3 <sup>ra</sup> Ed. España: Editorial Reverté S.A.
T9	Wilson, J., Bufo, A. y Lou, B. (2007) <i>Física</i> . 6° Ed. México: Pearson Educación.
T10	Young, H. y Freedman, R. (2009) <i>Física universitaria con Física Moderna. Vol. 2</i> . 12° Ed. México: Pearson Educación.

## IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### A. Jerarquía otorgada al estudio de las oscilaciones electromagnéticas libres

En el 90% de los LT analizados, el estudio de los fenómenos que acontecen en circuitos *LC* y *RLC* se presenta como tema de capítulo y en el 10% restante (T1) debe localizarse como sub-tema de capítulo. En T1 existe un tema llamado “Oscilaciones eléctricas” y bajo esta denominación se desarrollan dos sub-temas: (a) “Oscilaciones libres” y (b) “Oscilaciones forzadas”.

En los títulos de los temas y sub-temas analizados existen ciertas reiteraciones, así por ejemplo en el 70% de ellos se menciona la abreviatura *LC* (T2, T3, T4, T6, T7, T8, T10) y el 50% (T1, T3, T4, T5, T7) la palabra *oscilación*. El único ejemplar (T9) que no utiliza la abreviatura ni la palabra citada titula el desarrollo del tema como: “A fondo: Circuitos osciladores: emisores de radiación electromagnética”.

### B. Secuencias propuestas

#### B.1. En las obras

En todos los ejemplares se propone estudiar los circuitos de *LC* luego de haberse abordado los fenómenos eléctricos que acontecen en circuitos eléctricos alimentados por una fuente electromotriz (*fem*) de corriente continua en capítulos anteriores.

El capítulo antepuesto se dedica al estudio de los fenómenos de inducción electromagnética en cinco LT (T2, T4, T7, T9, T10), a los campos y/o propiedades magnéticos/as de la materia en cuatro ejemplares (T3, T5, T6, T8) y a campos electromagnéticos estáticos en el restante (T1). El capítulo posterior a circuitos *LC* y *RLC* se concentra en el estudio de Ondas electromagnéticas en seis LT (T2, T3, T4, T5, T6, T8) conjuntamente con las Ecuaciones de Maxwell en tres de ellos (T4, T6, T8). Asimismo, existen tres ejemplares (T5, T7, T10) que se dedican al estudio de corriente alterna (*CA*), uno (T1) al movimiento ondulatorio, y el restante (T9) a los fenómenos de reflexión y refracción de la luz

Es de destacar que en la mayoría de los LT (90%) se presenta el tema habiéndose analizado primeramente fenómenos transitorios de crecimiento y decaimiento de la corriente eléctrica en un circuito *RL*. Existe un LT (T9) en el que ese tipo de circuito no se aborda. En T8 “Circuitos *LC* y *LCR* sin generador” se ubica entre el tema circuitos eléctricos puros (resistivos, inductivos y capacitivos) conectados a una *fem* de *CA* y el tema circuitos *RLC* alimentados por un generador de *CA*. En T9, se presenta al final del capítulo dedicado a *CA*.

#### B.2. En el desarrollo del tema

En el 80% de los LT (T2, T3, T4, T6, T6, T7, T8, T10) se propone estudiar en primer lugar las oscilaciones libres que acontecen en circuitos *LC* y con posterioridad las oscilaciones libres amortiguadas en cir-

circuitos *RLC*. En un solo ejemplar (T1) la secuencia es inversa y en el restante (T9) no se explican los circuitos *RLC*.

En cuatro LT (T2, T5, T7, T10) la presentación del tema se inicia con un análisis cualitativo. El análisis cualitativo del ciclo de intercambio energético en un circuito *LC* sin resistencia y no radiante se realiza en el 60% de los LT (T2, T3, T5, T7, T9, T10) utilizando, para diversos instantes del fenómeno de oscilación simple, un esquema del circuito. En cuatro ejemplares (T2, T5, T9, T10) se muestra para cada instante representado el correspondiente histograma de energía eléctrica y magnética. El número de instantes representados es variado, en dos ocasiones se muestran 8 tiempos (T2, T5), en tres ejemplares se exhiben 4 tiempos (T4, T7, T10) y en un solo LT se publican 3 tiempos (T9). El instante representado en función del período [(t = f (T))] se explicita en tres ejemplares (T7, T9, T10) y en todos ellos el ciclo se muestra a intervalos de tiempo igual a la cuarta parte del período. Por otro lado, es de destacar que el único ejemplar que representa ilustrado el fenómeno eléctrico y su correspondiente analogía mecánica del sistema bloque-resorte es T7. Asimismo, el único ejemplar que emplea el ciclo de intercambio energético para graficar la variación temporal de carga eléctrica, corriente eléctrica, energía eléctrica y energía magnética sin haber formalizado sus expresiones matemáticas, pero habiendo explicado cada uno de los instantes (t = 1/8 T) es el T2 (Figura 30.3, p. 961).

El análisis cuantitativo de los circuitos *LC* se desarrolla aplicando la regla de la malla de Kirchoff en cinco ejemplares (T3, T4, T6, T8, T10) y el principio de conservación de la energía en tres LT (T2, T5, T7). Si bien las secuencias difieren de un ejemplar a otro, del análisis surge que la mayoría de los LT (T2, T3, T4, T5, T7, T8, T10) muestran en primer lugar la expresión de la carga en función del tiempo y una minoría (T1, T6) exhibe primeramente la ecuación temporal de carga eléctrica. El único ejemplar de la muestra que no presenta ecuaciones de las oscilaciones libres es T9.

En el tratamiento dado a los circuitos *RLC* es posible identificar tres procedimientos diferentes. Se plantea la regla de la malla de Kirchoff en cuatro LT (T3, T5, T6, T9), la energía total del circuito como suma de la energía eléctrica del capacitor y la energía magnética del inductor en dos ejemplares (T2, T7) y la ley de Ohm en un LT (T1). En la mayoría de ellos (T2, T3, T4, T5, T7, T10) se muestra en primer lugar la ecuación de carga en función del tiempo y en una minoría (T1, T6) se presenta la ecuación de corriente eléctrica en función del tiempo. En el T8 se presenta la ecuación diferencial de la corriente, se explicita que es idéntica a la análoga correspondiente al oscilador armónico amortiguado y se explican cada uno de sus términos. No se presentan en este ejemplar ecuaciones temporales de carga ni de corriente eléctrica.

En ningún ejemplar se muestra la resolución de ecuaciones diferenciales, en lugar de eso se recurre a la analogía mecánica o se sugiere probar, por sustitución, que la solución propuesta las satisface.

### C. Sistema lingüístico

Las expresiones verbales, que se refieren a la frecuencia angular de las oscilaciones electromagnéticas que suceden en circuitos *LC* y *RLC*, son escasas en la muestra examinada. En T5 se explicita que la frecuencia angular de las oscilaciones amortiguadas ( $\omega'$ ) es estrictamente menor que la frecuencia angular de las oscilaciones no amortiguadas ( $\omega$ ), siendo el único ejemplar que lo hace. Asimismo agrega que: “...en la mayoría de los casos de interés podemos poner  $\omega' = \omega$  con un error despreciable” (T5, p. 268).

### D. Sistema simbólico

Los símbolos empleados en la muestra examinada para representar las ecuaciones que cuantifican tanto las oscilaciones libres como las oscilaciones amortiguadas son, en términos generales, homogéneos.

La expresión de la frecuencia angular de las oscilaciones electromagnéticas de un circuito *LC* ideal ( $\omega$ ), en los ejemplares que se exhibe, es semejante a la que se muestra en la ecuación (1). Existen tres LT (T1, T2, T3) que emplean la notación  $\omega_0$  para referirse a ella. El único ejemplar donde no se exhibe es T9. Asimismo, la expresión homónima para los circuitos *RLC* ( $\omega'$ ), en términos generales, es como se muestra en la ecuación (2). Se emplean los símbolos  $\omega$  en T1 y T2,  $\omega_a$  en T3 y  $\omega_d$  en T7. En T8 y T9 no se explicita. En las ecuaciones  $L$  es el valor de la inductancia,  $C$  la capacitancia del capacitor y  $R$  el valor de la resistencia.

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad (1)$$

$$\omega' = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}} \tag{2}$$

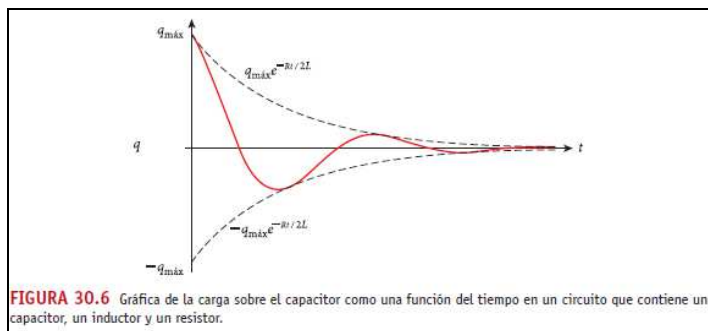
En la tabla II se indica con una marca (•) la presencia de ecuaciones temporales de carga eléctrica [q(t)], intensidad de corriente [I(t)] y energía eléctrica [U<sub>E</sub>(t)] para circuitos LC y RLC en cada uno de los ejemplares analizados, y la energía magnética en función del tiempo [U<sub>L</sub>(t)] sólo para oscilaciones libres no amortiguadas (en ningún ejemplar se muestra dicha ecuación para circuitos RLC). Existe un solo LT, T5 (p.266), que en la presentación de circuitos LC agrega dos gráficos cartesianos de la variación temporal del voltaje en los extremos del capacitor y de la resistencia que no fueron incluidos en ella.

**TABLA II:** Presencia de ecuaciones (E) y gráficos cartesianos (G) en función del tiempo en un circuito LC y RLC. (N=10) Frecuencias absolutas y porcentuales.

Texto	Circuito LC								Circuito RLC					
	q (t)		I (t)		U <sub>C</sub> (t)		U <sub>L</sub> (t)		q (t)		I (t)		U <sub>C</sub> (t)	
	E	G	E	G	E	G	E	G	E	G	E	G	E	G
T1			•								•	•		
T2	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•			•	
T3	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•				
T4	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•				
T5	•		•		•	•	•	•	•					
T6	•		•		•	•	•	•	•			•	•	
T7	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•				
T8	•	•	•	•	•			•			•			
T9														
T10	•		•							•	•			
<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>%</b>	<b>80</b>	<b>50</b>	<b>90</b>	<b>50</b>	<b>70</b>	<b>60</b>	<b>70</b>	<b>60</b>	<b>60</b>	<b>60</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>10</b>	<b>0</b>

En la tabla se aprecia que para describir los fenómenos temporales que acontecen en circuitos LC se emplean 53 recursos simbólicos (31 ecuaciones y 22 gráficos cartesianos), en cambio para circuitos RLC el número se reduce a 18 (9 ecuaciones y 9 gráficos cartesianos). En los circuitos LC las ecuaciones que muestran la variación de corriente respecto al tiempo superan a las que representan la carga, la energía eléctrica y la magnética. Por el contrario, en los circuitos RLC la ecuación exhibida con más frecuencia es la carga temporal. Por otro lado, en el caso de la intensidad de corriente las ecuaciones resultan ser menos numerosas que los gráficos cartesianos. Existe un ejemplar (T8) en el que se representa gráficamente la variación temporal de la carga y la corriente eléctrica en un circuito RLC sin haber especificado sus ecuaciones.

En la muestra existen 18 figuras que presentan 54 GC. En la totalidad de los casos el uso científico es teórico y el uso didáctico es expositivo. En ninguna ocasión la gráfica que se exhibe fue construida utilizando datos experimentales. Respecto al volumen de la información, es de hacer notar que los 54 GC están representados en 32 sistemas de ejes cartesianos ortogonales. En 21 ocasiones los GC son individuales, es decir se representa una sola función, en los 11 casos restantes se representan dos o más funciones simultáneamente. Así por ejemplo, existe una figura de variación de corriente en función del tiempo para circuitos RLC (Fig. 22.4, T6, p.916) que incorpora cinco funciones en el mismo sistema de ejes cartesianos. En ella se muestran tres oscilaciones temporales (amortiguada, críticamente amortiguada y sobreamortiguada) y dos variaciones de la amplitud de corriente en función del factor de amortiguamiento para valores de resistencia relativamente pequeños. Al respecto, es de destacar que el único ejemplar que indica explícitamente que la amplitud de la ecuación de la carga en función del tiempo –para el caso de oscilaciones subamortiguadas– decae exponencialmente con un factor [e<sup>-(R/2L)t</sup>] que es diferente al de los circuitos RL [e<sup>-(R/L)t</sup>] es el T10 (p.1050), y el único que especifica lo que representan las envolventes (gráfica de la amplitud en función del tiempo), por lo general representada en líneas de puntos, es T2 (Fig. 1).



**FIGURA 1.** Figura 30.6 extraída del T2 (p. 965) donde se especifican las funciones de las envolventes de la variación temporal de la carga sobre el capacitor en un circuito *RLC*.

En relación con la superposición de GC, es de hacer notar que en cuatro LT (T3, T4, T5 y T6) se representan simultáneamente la energía eléctrica, la energía magnética y la energía total en función del tiempo para circuitos *LC*.

Del análisis realizado en torno a la identificación explícita de variables independientes y dependientes surge que en la totalidad de los GC se explicita la variable independiente, la cual para este estudio es el tiempo. En cambio, la variable dependiente se omite en 13 GC presentes en T3 (31.2, 31.4), T4 (30.12, 30.14) y T6 (22.2).

**E. Analogías**

En todos los LT en los que se realiza el análisis cuantitativo de las oscilaciones libres no amortiguadas y amortiguadas se recurre a la analogía del movimiento armónico simple que tiene lugar en el sistema objeto-resorte, lo cual se considera valioso desde el punto de vista didáctico. En la tabla III se muestra la que se exhibe en T7.

En el T6 se plantea la analogía de un péndulo simple que oscila en diversos medios (vacío, aire y medio viscoso) con las oscilaciones electromagnéticas libres.

**TABLA III.** Analogías entre sistemas eléctricos y mecánicos tomada del T7 (p. 912).

<i>Circuitos eléctricos</i>		<i>Sistema mecánico unidimensional</i>
Carga	$Q \leftrightarrow x$	Posición
Corriente	$I \leftrightarrow v_x$	Velocidad
Diferencia de potencial	$\Delta V \leftrightarrow F_x$	Fuerza
Resistencia	$R \leftrightarrow b$	Coefficiente de amortiguación viscosa
Capacitancia	$C \leftrightarrow 1/k$	(k=constante del resorte)
Inductancia	$L \leftrightarrow m$	Masa
Corriente = derivada respecto al tiempo de la carga	$I = \frac{dQ}{dt} \leftrightarrow v_x = \frac{dx}{dt}$	Velocidad= derivada respecto al tiempo de posición
Rapidez de cambio de la corriente = segunda derivada respecto al tiempo de la carga	$\frac{dI}{dt} = \frac{d^2Q}{dt^2} \leftrightarrow a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}$	Aceleración = segunda derivada de la posición con el tiempo
Energía del inductor	$U_L = \frac{1}{2} LI^2 \leftrightarrow K = \frac{1}{2} mv^2$	Energía cinética de un objeto en movimiento
Energía del capacitor	$U_C = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} \leftrightarrow U = \frac{1}{2} kx^2$	Energía potencial almacenada en un resorte
Rapidez de pérdida de energía causada por la resistencia	$I^2 R \leftrightarrow bv^2$	Rapidez de pérdida de energía causada por la fricción
Circuito RLC	$L \frac{d^2Q}{dt^2} + R \frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{C} = 0 \leftrightarrow m \frac{d^2x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + kx = 0$	Objeto amortiguado en un resorte

## F. Aplicaciones a la vida cotidiana

Las aplicaciones a la vida cotidiana que se mencionan en los LT examinados son escasas. Sólo en T4 y T9 se indica que los osciladores son un elemento importante en muchos dispositivos electrónicos: los radios y los televisores los usan para sintonía y las grabadoras los usan (la “frecuencia de polarización”) cuando graban.

## G. Problemas resueltos

En la muestra de LT analizados existen en total 15 actividades que se presentan bajo el formato de problemas resueltos (PR), 10 de ellos dedicados al estudio de OEL ideales y los restantes a OEL amortiguadas. Los PR se encuentran distribuidos en los siguientes ejemplares: T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8 y T10.

Las consignas solicitadas para circuitos *LC* totalizan 31. En ellas, se identificaron dos procedimientos: cálculo numérico de variables (26) y escritura de ecuaciones (5). Las variables cuyo valor numérico se solicitan más asiduamente son energía (7) e intensidad de corriente (6). Las variables restantes son, frecuencia (4), carga (4), período (3) y frecuencia angular (2). La escritura de ecuaciones requeridas son: funciones temporales [carga (2), intensidad de corriente (1) y voltaje en los extremos del inductor (1)] como así también carga en función de la carga máxima (1).

Los 5 PR presentes en los LT para el estudio de circuitos *RLC* contienen un total de 9 consignas, donde se identificaron los siguientes procedimientos: cálculo numérico de variables (5), escritura de ecuaciones (3) y demostración (1). El valor numérico más solicitado en esta muestra es el tiempo (4) y en menor medida, la resistencia (1). La escritura de expresiones temporales [carga (1) y corriente eléctrica (1)] supera a otras variantes menos frecuentes [resistencia en función de los valores numéricos de la inductancia y de la capacitancia (1)].

## H. Imprecisiones

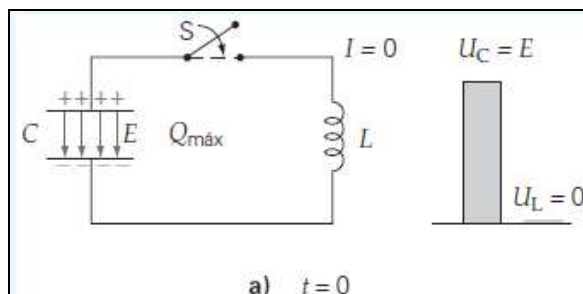
En la muestra examinada, existen dos LT, T5 y T9, que contienen la misma arbitrariedad conceptual. En uno de ellos puede leerse:

*Problema muestra 8. Un capacitor de  $1.5 \mu\text{F}$  se carga a  $57 \text{ V}$ . La batería que lo carga se desconecta después y, **en paralelo con el capacitor, se conecta una bobina de  $12 \text{ mH}$ , de modo que ocurren oscilaciones LC.** ¿Cuál es la corriente máxima en la bobina? Suponga que el circuito no contiene resistencia. (T5, p.266) [El resaltado corresponde a los autores de la investigación]*

En otro se sostiene:

*Para comprender mejor esta situación, consideremos las oscilaciones de energía en **un circuito ideal LC en paralelo**, como el de la figura 2a. (T9, p.699) [El resaltado corresponde a los autores de la investigación]*

La figura a la que se alude en este ejemplar es la que se exhibe en este escrito como Fig.2. Su epígrafe dice textualmente: “Figura 2: Un circuito oscilador LC”.



**FIGURA 2.** Parte de la figura exhibida en el T9, p.699.

Como puede verse en ambos casos se sostiene erróneamente que el capacitor está conectado en paralelo con el inductor, cuando debería decir que están conectados en serie.

Respecto al T5, es de hacer notar que se trata de un error de traducción, ya que su enunciado en idioma inglés, dice:



*Sample Problem 8: A  $1.5\mu\text{F}$  capacitor is charged to 57 V. The charging battery is then disconnected and a 2 mH coil is connected across the capacitor, so that LC oscillations occur. What is the maximum current in the coil? Assume that circuit contains no resistance. (Halliday, Resnik y Krane, 1992, p.831)*

En cambio en el T9, en versión en idioma en inglés puede leerse:

*To understand this oscillation, consider the energy oscillation in an ideal (resistanceless) **parallel LC circuit**, show in Fig.2a. Let's assume that the capacitor is initially charged and the switch is then closed ( $t = 0$ ). The following sequence of events occurs: ... (Wilson, Bufa y Lou, 2007, p.699) [El resaltado corresponde a los autores de la investigación]*

En este caso, el error es de los autores y ya ha sido comunicado a uno de ellos, Bo Lou, quien tuvo la gentileza de enviar al equipo de investigación la página solicitada para poder realizar la comparación.

## V. SÍNTESIS E IMPLICANCIAS PARA LA DOCENCIA

En la mayoría de los ejemplares analizados el estudio de las OEL se presenta como tema de un capítulo, lo cual indicaría la importancia del fenómeno en el estudio del Electromagnetismo. Los títulos analizados en esta investigación señalan implícitamente su doble función “jerárquica” y “orientadora” (León, 1996), por cuanto posibilitan identificar instrucciones de orden y modos de leer, respectivamente.

La secuencia propuesta en las obras analizadas, en términos generales, es homogénea. Existen dos ejemplares (T8, T9) donde el estudio de las OEL se presenta durante, o al final, del estudio de las oscilaciones electromagnéticas forzadas.

La secuencia que se presenta para el desarrollo del tema, en la mayoría de los ejemplares, es semejante, se sugiere el estudio de circuitos *LC* y a continuación circuitos *RLC* (excepto en T1 que el orden es inverso y en T9 que no aborda el estudio de circuitos *RLC*). En la mayoría de los ejemplares analizados se utiliza un esquema para analizar el ciclo de intercambio energético en un circuito *LC* sin resistencia y no radiante. Los esquemas difieren en la cantidad de instantes representados y el intervalo de tiempo que muestran, en algunos LT se acompaña con un gráfico de barras en las que se representan las energías eléctrica y magnética, y en un solo ejemplar (T7) se ilustra el fenómeno eléctrico y su correspondiente analogía mecánica consistente en el sistema bloque-resorte.

El análisis cuantitativo se realiza empleando la regla de la malla de Kirchoff, la energía total del circuito y la ley de Ohm, lo cual se considera valioso didácticamente porque ofrece una variedad de procedimientos que posibilitaría a los lectores que los consultan contar con diferentes argumentos (Farina y otros, 2016) para explicar el fenómeno.

Las expresiones verbales, relacionadas con la frecuencia angular de oscilaciones electromagnéticas que suceden en circuitos *LC* y *RLC*, son escasas. Los recursos simbólicos que describen las variaciones temporales de carga eléctrica, intensidad de corriente, energía eléctrica y magnética son mayores en el tema OEL no amortiguadas que en las amortiguadas. La ecuación temporal de carga y su representación gráfica se exhibe con mayor frecuencia que las ecuaciones y los gráficos de variación temporal de la corriente eléctrica, la energía eléctrica y la energía magnética.

La totalidad de los GC tiene un uso científico teórico y un uso didáctico expositivo. El predominio de estos usos en detrimento de otros, tales como el uso científico experimental o el uso didáctico problémico (García, 2005), no sólo acentuaría una visión distorsionada de las Ciencias Naturales, sino que además, no promovería en los lectores determinadas competencias profesionales potencialmente útiles. Las omisiones señaladas en ellos (no explicitar la variable dependiente, no indicar qué representan las envolventes, no especificar ecuación de la función temporal representada, etc.) implican un mayor esfuerzo cognitivo por parte del lector para comprender lo que lee.

La escasa cantidad de analogías y aplicaciones a la vida cotidiana concordaría con las afirmaciones de Márquez y Prat (2005) respecto a la desconexión entre el mundo natural y los contenidos científicos, y dificultaría dotar de significado al tema.

Los PR totalizan 15 y contienen 40 consignas. En ellas predomina el procedimiento cálculo numérico de variables (78%), en menor medida se solicita la escritura de ecuaciones (20%) y la demostración (2%). Se infiere que en los LT universitarios prevalecen problemas cerrados y cuantitativos que alentaría el uso de algoritmos matemáticos que no promoverían el quehacer científico en los estudiantes, lo cual concuerda con otras investigaciones realizadas en el área de Mecánica y Electricidad (Concari y Giorgi, 2000, Pandiella, 2003).

Las imprecisiones detectadas, confundir una conexión en serie con una conexión en paralelo, se consideran un error conceptual importante, es decir aquél que evidencia el uso de una idea o una interpretación inapropiada para explicar el fenómeno en cuestión, y podría deberse, tal como sostiene Ortega

(2002), a la representación altamente convencional empleada en los LT. En la mayoría de los ejemplares (T2, T3, T5, T6, T7, T8, T9), excepto en T1, se emplea un esquema de circuito eléctrico de una malla con elementos pasivos dispuestos “uno al lado del otro” tal como muestra la Fig. 2 o “uno arriba del otro” (T4, T10) que podría prestarse a confusión en un lector poco experimentado.

El análisis realizado en esta investigación pretendió mostrar una posible descripción del desarrollo del tema OEL en LT empleando categorías que se estimaron pertinentes y que arrojaron resultados que podrían alertar a los docentes que los recomiendan y/o utilizan, asimismo se espera realizar una contribución en la investigación educativa centrada en la calidad de los LT y la influencia que ellos puedan tener en el aprendizaje de física universitaria.

Se concluye que si bien algunos aspectos se tratan adecuadamente en la muestra de LT seleccionados, existen otros que merecerían mayor elaboración.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó en el marco de un proyecto registrado, bajo el código 16Q-587, en la Secretaría de Investigación y Posgrado de la FCEQyN-UNaM.

## REFERENCIAS

Abd-El-Khalick, F., Myers, J., Summers, R., Brunner, J., Waight, N., Wahbeh, N. y Belarmino, J. (2017). A longitudinal analysis of the extent and manner of representations of nature of science in US high school biology and physics textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 54(1), 82–120.

Alexander, P. y Kulikowich, J. (1994). Learning from physics text: A synthesis of recent research. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(9), 895–911.

Ander-Egg, E. (2010). *Métodos y técnicas de investigación social: Cómo organizar el trabajo de investigación*. vol. III. España: Lumen.

Anjos, A., Greca, I. y Moreira, M. (2015). As equações matemáticas no ensino de Física: Uma análise de conteúdos em livros didáticos de Física. *Revista eletrônica de Enseñanza de las Ciencias*. 14(3), 312–325.

Arriasecq, I., Seoane, E., Cayul, E y Greca, I. (2016). Teoría Especial de la Relatividad en la escuela secundaria: perspectiva de los docentes y análisis de textos. *Revista de Enseñanza de la Física*. 28(Extra), 15–22.

Astolfi, J. (1988). El aprendizaje de conceptos científicos: aspectos epistemológicos, cognitivos y lingüísticos. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), 147–155.

Bardín, L. (1996). *El análisis de contenido*. Madrid: Akal.

Benjumea, F. y Revuelta, P. (2001). Utilización de herramientas informáticas de simulación en la enseñanza del circuito transitorio. *XI Reunión de Grupos de Investigación en Ingeniería Eléctrica*. Badajoz, España, 5–7 de abril.

Bungum, B. (2008). Images of physics: an explorative study of the changing character of visual images in Norwegian physics textbooks. *Nordina*, 4(2), 132–141.

Campanario, J. y Otero, J. (2000). La comprensión de los libros de texto. En Perales, F. y Cañal, P. (eds.). *Didáctica de las Ciencias Experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. Alcoy: Marfil. 18(2), 323–338.

Chevelard, Y. (2013). Enseñar Matemáticas en la Sociedad de Mañana: Alegato a Favor de un Contraparadigma emergente. *Journal of Research in Mathematics Education*, 2(2), 161–182.

Concari, S. y Giorgi, S. (2000). Los problemas resueltos en los textos universitarios de Física. *Enseñanza de las Ciencias*. 18(3), 381–390.

- Cordero, F. y Flores, R. (2007). El uso de las gráficas en el discurso matemático escolar: Un estudio socioepistemológico en el nivel básico a través de los libros de texto. *Revista latinoamericana de investigación en matemática educativa*, 10(1), 07–38.
- da Rosa, C., Cótica, R. y Henrique, L. (2016). Analogias no estudo de eletricidade nos livros didáticos de física. *Revista Eletrônica de Enseñanza de las Ciencias*, 15(3), 363–379.
- Fanaro, M. y Otero, M. (2007). Conversaciones de un grupo de profesores de Física acerca de las imágenes de los libros de texto: Un estudio exploratorio. *Investigações em Ensino de Ciências*, 12(1), 85–114.
- Farina, J., Milicic, B; Jardón, A. y Fernández, P. (2016). Estructura retórica en libros de texto de física: argumentación sobre la entropía. *Revista de Enseñanza de la Física*, 28(Extra), 109–117.
- García, J. (2005). El uso y el volumen de información en las representaciones gráficas cartesianas presentadas en los libros de texto de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 23(2), 181–199.
- Giacosa, N., Zang, C., Galeano, R. y Such, A. (2014). Oscilaciones electromagnéticas forzadas: análisis del sistema simbólico y lingüístico empleado en libros de texto universitarios. *Revista de Enseñanza de la Física*. 26(Extra), 131–144.
- Guisasola, J., Zuza, K. y Almudi, J. (2013). An analysis of how electromagnetic induction and Faraday's law are presented in general physics textbooks, focusing on learning difficulties. *European Journal of Physics*, 34(4), 1015–1024.
- Halliday, D., Resnik, R. y Krane, K. (1992). *Physics, Vol.2*. 4<sup>th</sup> Edition. EEUU: John Wiley & Sons.
- Idoyaga, I. y Lorenzo, G. (2014). Las representaciones gráficas en la enseñanza y en el aprendizaje de la física en la universidad. *Revista de Enseñanza de la Física*, 26(Extra), 365–371.
- Lenke, J. (1997) *Aprender a hablar ciencia. Lenguaje, aprendizaje y valores*. España: Paidós.
- León, J. A. (1996) *Prensa y Educación: Un enfoque cognitivo*. Buenos Aires: Aique.
- Marchisio, S., Concari, S., Lerro, F., Arregui, G, Plano, M., Merendino, C. y Alves, G. (2016). Uso compartido de módulos educativos para circuitos eléctricos y electrónicos del laboratorio remoto VISIR. 7<sup>mo</sup> Seminario Internacional de la RUEDA.
- Marino, L. Giorgi, S., Cámara, C. y Carreri, R. (2015). Controversias en el tratamiento del movimiento oscilatorio armónico simple en libros de Física del nivel básico universitario. *Revista de Enseñanza de la Física*, 27(Extra), 79–87.
- Marino, L., Giorgi, S., Cámara, C. y Carrera, R. (2016). Hipótesis simplificadoras que pueden obstaculizar la comprensión de la mecánica en el ciclo inicial universitario: el tratamiento de cuerdas inextensibles y de masas despreciables en libros de texto. *Revista de Enseñanza de la Física*. 28(Extra), 127–136.
- Márquez, C. y Prat, A. (2005). Leer en clase de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 23(3), 431–440.
- Martín, J., Nicotra, M., Leguizamón, C. y Galeasso, A. (2016). Propuesta de recreación de los experimentos de Hertz en el Laboratorio de Enseñanza de la Física. *Revista de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 3(2), 147–150.
- Méndez, D. y Slisko, J. (2014). La historia en los libros de texto de física y química para secundaria: las diferentes formas de presentar la información histórica y las opiniones relacionadas de los alumnos. *Revista Mexicana de Física*. E, 60(1), 66–74.
- Níaz, M., Klassen, S., McMillan, B. y Metz, D. (2010). Reconstruction of the history of the photoelectric effect and its implications for general physics textbooks. *Science Education*, 94(5), 903–931.
- Ortega, M. (2002). Imágenes, conocimiento y educación. Reflexiones desde la historia de la representación visual en las ciencias. *Tarbiya, Revista de Investigación e Innovación Educativa*, (31), 11–38.

Pandiella, S. (2003). Los problemas resueltos en libros universitarios ¿son un modelo a seguir? *Memorias del Congreso Latinoamericano de Educación Superior en el siglo XXI*. San Luis.

Pandiella, S., Torné, P. y Macías, A. (2004). Las características de los textos de física y su incidencia en la comprensión. *Investigações em Ensino de Ciências*, 9(1), 27–35.

Pocoví, M. y Collivadino, C. (2014). Traducción entre lenguajes simbólicos de distintas áreas del conocimiento: el caso del flujo del campo eléctrico. *Enseñanza de las Ciencias*. 32(2), 53–69.

Pozo, J. y Gómez Crespo, M. (2010). Por qué los alumnos no comprenden la ciencia que aprenden: qué podemos hacer nosotros para evitarlo. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 66, 73–79.

Rodríguez, M. y Níaz, M. (2004). The oil drop experiment: An illustration of scientific research methodology and its implications for physics textbooks. *Instructional Science*, 32(5), 357–386.

Romagnoli, C. y Massa, M. (2016). Análisis de contenidos de libros de textos de Ciencias Naturales para el Primer Ciclo de Educación Primaria: Un estudio centrado en los fenómenos luminosos. *Revista Latinoamericana de Física Educativa*. 10(4), 4309–1.4309–9.

Sanmartí, N., Izquierdo, M. y García, P. (1999). Hablar y escribir. Una condición necesaria para aprender ciencia. *Cuaderno de Pedagogía*, 281, 54–58.

Strube, P. (1989). A content analysis of arguments and explanations presented to students in physical science textbooks: a model and an example. *International Journal of Science Education*, 11(2), 195–202.

Taibu, R., Rudge, D. y Schuster, D. (2015). Textbook presentations of weight: Conceptual difficulties and language ambiguities. *Physical Review Special Topics–Physics Education Research*, 11(1), 010117–1 – 010117–20.

Wilson, J., Bufa, A. y Lou, B. (2007). *College Physics*, 6<sup>th</sup> edition. EEUU: Prentice Hall.