

# ANÁLISIS ONTOLÓGICO Y EPISTEMOLÓGICO DE LA PRESENTACIÓN DE LAS LEYES CERO Y PRIMERA LEY DE LA TERMODINÁMICA EN LIBROS DE TEXTO ESCOLAR Y UNIVERSITARIO.

Joaquín Castillo Poblete, Rocío Ogaz Rojas, Waldo Quiroz Venegas, Cristian Merino Rubilar  
Instituto de Química, Laboratorio de Didáctica de la Química  
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso  
Avenida Universidad 330, Curauma, Valparaíso  
*joaquincastillopoblete@gmail.com - 032-2274946*

## Resumen

Teniendo presente la relevancia de la termodinámica tanto para la Química como disciplina científica, como además su relevancia en los planes de estudio de ministerio, en base a un marco de referencia analizamos la presentación de las leyes cero y primera ley de la termodinámica en 5 textos de química tanto universitarios como de enseñanza media. Del análisis ontológico llevado a cabo, los conceptos de calor “Q” y trabajo “W” pertenecen a la categoría de procesos, el concepto de energía interna (U) como propiedad y los conceptos presión “P”, volumen “V” y temperatura “T” pertenecen a los conceptos de propiedad igualmente. Los resultados muestran que 3 de los 5 libros tienen el error de presentar el concepto de trabajo “W” como propiedad y uno de ellos presenta además el concepto de calor “Q” también como propiedad. De forma análoga el libro de texto escolar es el único que presenta explícitamente el concepto de energía como propiedad quedando en los otros textos definido de forma meramente operacional como la capacidad de efectuar trabajo. También son revisados los patrones de causalidad donde 2 libros de texto se presenta erróneamente Q y W como causay no así, a los parámetros termodinámicos que son, definidos en los mismos textos, como las propiedades que definen el estado actual del sistema. En artículo se discuten estas ideas y sus implicancias para la enseñanza de estos contenidos y términos de referencia.

**Palabras clave:** Primera ley, análisis de texto, visión semántica de teoría.

## 1. Introducción

Es sabido que en ciencias naturales los conceptos de teoría, hipótesis y ley son en general confundidos tanto en el marco de la ciencia profesional como también por los profesores de ciencia (Lederman, Abd-El-Khalick, Bell, & Schwartz, 2002). Al respecto uno de los sistemas filosóficos más influyentes para la definición de estos conceptos, en ciencias naturales lo conforma el realismo científico cuyo principal exponente, de acuerdo a la revista science es Mario Bunge (Michel et al., 2011). Así uno de los aspectos más destacables de este sistema filosófico es que no es solo una propuesta epistemológica sino que además lógica, ontológica, axiológica y metafísica (Bunge, 1977, 1979, 1983a, 1983b; Bunge, 1974a, 1974b).

Respecto de los conceptos de teoría, ley e hipótesis, esta propuesta las define de la siguiente manera. Una hipótesis científica es una idea, es decir una afirmación respecto de la realidad material, la cual debe ser fundamentada y contrastable empíricamente. Luego una contrastación positiva la categoriza como una hipótesis científica convalidada. Una ley es una subcategoría de hipótesis que presenta los requisitos adicionales de presentar un patrón de causalidad y un mecanismo demostrado con evidencias favorables que conecte la variable causa con la variable efecto. Finalmente una teoría científica es un sistema de hipótesis conectada lógicamente por relaciones de deducibilidad siendo las hipótesis más generales conocidas como postulados o axiomas (Bunge, 2007).

En este sistema filosófico por lo tanto los conceptos de hipótesis, ley y teoría están estrechamente conectados no solo con su forma de generación (epistemología) sino además con sus referentes naturales o materiales (ontología y metafísica). Luego, tanto la ontología como la metafísica materialista de este sistema son una herramienta semántica muy importante para la clarificación de concretos científicos para su enseñanza. Así por ejemplo, el año 2000, el mismo Mario Bunge clarifica el concepto de energía desde un punto de vista epistemológico, ontológico y metafísico, categorizándolo como la única propiedad transversal de todos los objetos materiales, causa última de la mutabilidad de la realidad (Bunge, 2000).

Siguiendo esta línea nuestro grupo de investigación previamente analizó la Ley de Boyle desde un punto de vista ontológico identificando las variables de presión y volumen como propiedades de un sistema gaseoso, siendo el volumen del gas la variable causa y la presión del gas como la variable efecto fundamentado desde el mecanismo comprobado de colisiones moleculares. Luego

al aplicar los resultados de este análisis a 14 libros de Química General de nivel universitario, se demostró que 13 de ellos presentaron errores ontológicos graves, tales como omitir el patrón de causalidad o en su defecto presentarlo de forma errónea asociado a la presión como causa y el volumen como efecto(Quiroz & Rubilar, 2015).

Son muchos los contenidos de elevada complejidad que podrían nutrirse de esta ontología y metafísica para su correcta presentación en libros de texto. Sin embargo, no existen otros estudios similares al menos en química. Considerando la relevancia de la termodinámica clásica, tanto como eje central de la Química como disciplina, como también por la gran importancia que se le da a los contenidos de Química de enseñanza media, se consideró aplicar esta herramienta para el análisis de la presentación de este contenido en libros de texto científicos.

Lógica y epistemológicamente, la termodinámica clásica es una teoría la cual posee 4 hipótesis científicas generales o axiomas. Siendo los 4 axiomas de la categoría de leyes. De las 4 leyes de la termodinámica clásica las 2 primeras denominadas ley cero y primera ley son las que mayor cobertura se da en los libros de química general y en sistema escolar chileno en enseñanza media. Luego se hace establecer tanto su ontología como sus patrones de causalidad.

La ley cero de la termodinámica establece explícitamente que existe una propiedad termodinámica llamada temperatura, la cual define el estado de equilibrio térmico cuando las temperaturas de dos sistemas en contacto es son la misma. Luego la primera ley define una segunda propiedad de un sistema denominada energía interna, la cual dependiendo de las condiciones, los cambios de energía interna de un sistema  $\Delta U$  puede ser transferida desde o hacia el entorno como calor o trabajo. Matemáticamente en la mayoría de los textos se presenta de la siguiente forma.

$$\Delta U = Q + W$$

Siendo “Q” el concepto de calor y “W” el concepto de trabajo.

Así este estudio busca visualizar en distintos textos, universitarios y escolares, cómo es que se presenta la primera ley de la termodinámica, específicamente en cuanto a si es posible identificar cómo abordan esta Ley con su debido patrón de causalidad y el mecanismo llevado a cabo para provocar un determinado efecto. Junto con esto, resulta importante para esta investigación identificar cuál es la definición ontológica que le atribuyen y cómo es que utilizan los conceptos

que están asociados a la primera ley, siendo estos: Energía interna, calor, trabajo, volumen, presión y temperatura.

## **2. Clasificación ontológica de los conceptos de energía interna, temperatura, calor y trabajo.**

Ontológicamente el sistema filosófico de Mario Bunge define 5 categorías, estas son las de “cosas u objetos materiales”, “propiedades”, “procesos” “sucesos” y “estados”(Bunge, 1977). De estas 5 categorías, como explicaremos más adelante, para las leyes de la termodinámica son relevantes 2, los conceptos de propiedad y procesos.

Propiedad es una característica o atributo de un objeto u cosa, esto quiere decir que las propiedades no tienen existencia propia. Para el caso de la ley cero tanto el concepto de temperatura como el de energía interna “U” serían una propiedad en base a este marco de referencia, por cuanto como el mismo Mario Bunge plantea, la energía no tiene existencia propia sino que lo que existe son objetos materiales con energía, lo cual es consistente con la evolución de la teoría del calórico la cual consideraba a la energía como un objeto y actualmente la termodinámica la considera como una propiedad(Levine, 2014). Mismo caso para el concepto de temperatura “T” por cuanto la temperatura no existe lo que existe son objetos con temperatura tal como está definida explícitamente en esta ley.

Luego los conceptos más complejos de categorizar ontológicamente son los conceptos de calor y trabajo. Al respecto a nuestro juicio estos conceptos, ambos quedan perfectamente categorizados bajo los conceptos de procesos. Para Mario Bunge un proceso es un cambio sucesivo y secuencial de estados de un objeto. Luego un estado es una suma de propiedades que definen a un objeto en un momento dado.

El concepto de calor “Q” en base a esta propuesta hace referencia a un proceso de transferencia de energía el cual ocurre desde un estado inicial de desequilibrio térmico hasta un estado final de equilibrio térmico. Claramente este concepto está asociado a estados y a las propiedades de energía y temperatura y a cambios en el tiempo por lo que nuestra clasificación tiene fundamentos en este marco de referencia. El concepto de calor no estaría clasificado ontológicamente como una “forma de energía” por cuanto esto implicaría que el calor sería una propiedad, es decir un atributo de un objeto material como la presión o el volumen. Lo cierto es

que el calor se manifiesta desde un estado de desequilibrio térmico hasta un estado de equilibrio térmico y en este contexto no es un atributo de un objeto sino un cambio de energía interna en el tiempo en base a diferencias de temperatura. Calor es el proceso, temperatura y energía interna son las propiedades involucradas en los distintos estados.

Respecto del concepto de trabajo este también se relaciona con un estado inicial y final, estados que se pueden identificar claramente en algunos casos que analizaremos más adelante en un gráfico de volumen “V” vs presión “P” siendo estas propiedades de P, V o T variables que definen los estados los cuales cambian en el tiempo para intercambiar energía. Nuevamente, al igual que con el concepto de calor “Q”, el concepto de trabajo está intrínsecamente conectado con estados, propiedades y cambios por lo que nuestra clasificación como un proceso está fundamentada en este marco de referencia.

Bajo esta propuesta el plantear que un cuerpo posee calor es tan errado como plantear que un cuerpo posee trabajo. Los procesos no se poseen, las propiedades sí y las poseen los objetos materiales. El resumen de nuestras clasificaciones ontológicas se entrega en la tabla 1.

Tabla 1: clasificaciones ontológicas de los conceptos implícitos y explícitos en la ley cero y primera ley de la termodinámica

Variable	Clasificación ontológica
U	Propiedad
Q	Proceso
W	Proceso
T	Propiedad
P	Propiedad
V	Propiedad

### 3. Patrones de causalidad de la primera ley de la termodinámica.

#### 3.1 Ley cero

Tanto la ley cero como la primera ley de la termodinámica son hipótesis que afirman un patrón de causalidad. Luego un análisis semántico de estas leyes, realizado en el marco de la ontología materialista del sistema filosófico de Mario Bunge implica establecer las variables causa, las variables efecto y los mecanismos involucrados en este patrón de causalidad.

Para la ley cero, este análisis es simple por cuanto esta ley afirma que dado un sistema en contacto con iguales temperaturas entonces se establece el equilibrio térmico esto implica que dado dos cuerpos de temperaturas iguales (causa) el efecto es que la diferencia de energía interna es cero  $\Delta E=0$ .

De la misma forma dado dos cuerpos con diferentes temperaturas  $T_1$  y  $T_2$  tal que  $T_1 > T_2$  entonces ocurrirá una transferencia de energía desde el cuerpo de mayor temperatura hacia el de menor temperatura hasta que se alcance el equilibrio térmico. En este caso la variable causa es claramente  $T$  una propiedad y la variable efecto es la transferencia de energía  $E$ , propiedad. Luego el mecanismo es el asociado al proceso de calor  $Q$  el cual a nivel microscópico implica movimiento de partículas, aspecto que por razones de espacio no abordaremos en este texto. El patrón de causalidad de la ley cero está por lo tanto estrechamente ligada a la primera ley.

### *3.2 Primera ley de la termodinámica*

Debido a que la primera ley involucra explícitamente 3 variables,  $\Delta U$ ,  $Q$  y  $W$  e implícitamente a las variables  $T$ ,  $P$  y  $V$ , entonces analizar el patrón de causalidad se hace más complejo y se hace imposible de realizar abstrayéndose del tipo de sistema material al cual nos referimos. Al respecto, en base al tipo de sistema experimental.

#### 3.2.1 Sistema con pared adiabática

En el marco de un sistema experimental consistente en un gas ocluido en una cámara con paredes móviles, pero aisladas térmicamente, estamos en ese caso en un sistema que no intercambia energía bajo el proceso de calor. Esto implica que  $Q=0$  por lo que

$$\Delta U (\text{efecto}) = \Delta V (\text{causa})$$

Ahora bien, si este sistema está en contacto con un entorno digamos de menor presión, ( $P_{\text{interna}} > P_{\text{externa}}$ ) esto implica que el sistema ejercerá trabajo hacia el entorno, disminuyendo su energía interna. En este contexto la causa es la variación de volumen, lo cual provoca, a su vez “ $W$ ”, culminando así con el efecto que es  $\Delta U$ . El mecanismo explicativo como se describe en textos disciplinares está bajo el contexto de la ley de Boyle el cual implica que dado un volumen interno de un gas “ $V$ ” a temperatura constante “ $T$ ” entonces se genera una presión del gas  $P_{\text{interna}}$  sobre la

pared a través de colisiones moleculares sobre esta. Luego al existir una presión externa menor, la pared comenzará a desplazarse generando trabajo hacia el entorno aumentando el volumen hasta que el efecto último sea que  $P_{\text{interna}} > P_{\text{externa}}$ , como se muestra en la figura 1.

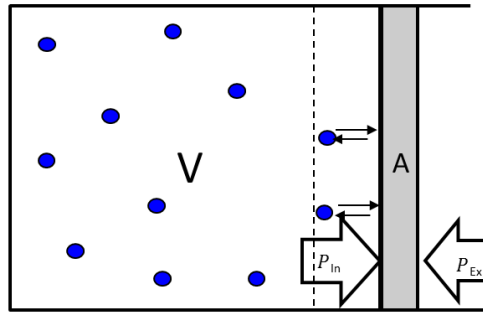


Figura 1. Esquema del mecanismo de colisiones moleculares y la relación volumen presión de un gas.

### 3.2.2. Sistema pared rígida diatérmica

Para el caso de un gas ocluido en una pared rígida pero térmicamente conductora, estamos en un contexto en donde  $W = 0$  por cuanto no hay variación de volumen por lo que la distancia desplazada de la pared es cero. Luego si este sistema se pone en contacto con un sistema de temperatura diferente, entonces ocurre transferencia de energía bajo el proceso de calor. Estamos entonces en el siguiente contexto:

$$\Delta U(\text{efecto}) = \Delta T(\text{Causa})$$

Siendo a nuestro juicio la diferencia de  $T$  la causa y  $\Delta U$  el efecto. Esta elección de  $T$  como causa no es arbitraria y se basa en el mecanismo implícito y es que dado que el gas ocluido presenta una temperatura diferente a su entorno, entonces luego comienza la transferencia de energía. Bajo este mecanismo la causa inicial de todo el proceso es la temperatura  $T$  en ambos sistemas, luego el efecto de  $T$  es  $Q$  siendo  $Q$  la causa de una variación final de la energía interna del sistema  $\Delta U$ . Si el sistema presenta una menor temperatura  $T$  que el entorno entonces incrementará su energía interna y viceversa. Dado que las paredes son móviles el efecto final es además una variación de la presión del gas es decir estamos en el contexto de la ley de Gay-Lussac .

Por extensión, es evidente que si el sistema es completamente aislado, con paredes rígidas la variación de energía interna es constante es decir:

$$\Delta U = 0$$

Que es como se presenta la primera ley en muchos textos. Esto implica que no hay un patrón de causalidad por cuanto no se gatilla ningún mecanismo ya que no hay procesos físicos posibles, lo cual también es una afirmación universal por lo que no es contradictorio con el concepto de ley. En un sistema cerrado con paredes móviles en donde puede ocurrir calor y trabajo, la primera ley es válida como expresión matemática completa.

$$\Delta U = Q + W$$

Luego para establecer la variable causa en este caso a nuestro juicio sigue siendo la T dando dos efectos posibles, W y  $\Delta U$  en donde la energía transferida desde o hacia el sistema se distribuyen como W y  $\Delta U$  dependiendo de las condiciones finales del experimento (T y V final del sistema) como también de las propiedades mismas del gas.

Nuestra afirmación se sustenta en que la variable causa primigenia al igual que en un sistema diatérmico, sigue siendo la temperatura T de ambos sistemas. Luego ante una diferencia de temperatura, ocurrirá una transferencia de energía el cual culminará espontáneamente hasta que se alcance el equilibrio térmico. Ahora bien, dependiendo del volumen final del gas, el cual dependerá de la presión externa del sistema, se generará un trabajo W cuya magnitud dependerá de la distancia que recorre la pared móvil, luego el resto de la energía se transformará en un incremento o disminución de la energía interna  $\Delta U$ .

En la tabla 2 se entregan los patrones e causalidad y los mecanismos que lo fundamentan en base a nuestra propuesta.

Tabla 2: Patrones de causalidad de la primera ley de la termodinámica y sus mecanismos asociados

Sistema	Causa	Efecto	Mecanismo	Expresión
Diatérmica	T	$\Delta U$	$T \rightarrow Q \rightarrow P \rightarrow \Delta U$	$\Delta U = Q$
Adiabática	V	$\Delta U$	$V \rightarrow P \rightarrow W \rightarrow \Delta U$	$\Delta U = W$
Asilada	$\Delta U$	$\Delta U$	no hay proceso	$\Delta U = 0$
Cerrado	T,P	$\Delta U$	$T_{ex} \rightarrow Q \rightarrow T_{int} \rightarrow \Delta U$ $T \rightarrow V \rightarrow P \rightarrow W \rightarrow \Delta U$ $P_{ext} \rightarrow V \rightarrow P_{int} \rightarrow W \rightarrow \Delta U$	$\Delta U = Q + W$



#### 4. La enseñanza de la termodinámica en el sistema escolar

Si nos situamos desde la perspectiva de la enseñanza de la química, el cómo transmitimos una idea científica a los estudiantes adquiere real importancia en especial cuando nuestra finalidad es alfabetizar científicamente a la comunidad, entendiendo esto como: *un proceso de “investigación orientada” que, superando el reduccionismo conceptual permita a los alumnos participar en la aventura científica de enfrentarse a problemas relevantes y (re)construir los conocimientos científicos, que habitualmente la enseñanza transmite ya elaborados, lo que favorece el aprendizaje más eficiente y significativo.*(Sabariego del Castillo, 2006)

Cierto es que actualmente la enseñanza en ciencias se enfoca en transmitir conocimiento científico ya elaborado, pero el desafío para las ciencias hoy en día recae en que esta transmisión de contenidos lleve consigo un proceso de reflexión y cuestionamiento constante, en donde los estudiantes logren interiorizar los contenidos reconstruyendo y utilizando sus concepciones iniciales como punto de partida para la comprensión de un determinado contenido. Esto basado en el principio de que nuestros estudiantes han creado diversas concepciones con respecto a un tema, basado en el acercamiento que éstos poseen a la realidad a través de los sentidos, lo cual constituye el medio por el cual el conocimiento común se va fundamentando y estructurando cada vez más, el cual es expresado a través de un lenguaje cotidiano y así es transmitido dentro de la sociedad. Ahora bien ¿Podemos utilizar un lenguaje cotidiano para referirnos a conceptos, hechos o fenómenos científicos? Ciertamente la respuesta la conocemos y sabemos que la utilización de un lenguaje cotidiano, en muchas ocasiones, no es compatible con los conceptos que constituyen el conocimiento científico, y es en este sentido que el lenguaje que utilizamos para expresar una idea científica debe articularse de tal manera que el concepto que está detrás de ella, sea difundido de manera adecuada y que permita una comprensión clara y precisa de aquello que deseamos enseñar, así como se menciona en (Neus Sanmartí, 1999): *“Una característica de este tipo de lenguaje es el vocabulario específico que posee”*. Es decir, muchas veces se utilizan términos cuya connotación cotidiana refiere exactamente a lo mismo, y es el caso específico, por ejemplo, de calor y temperatura, términos que son utilizados en los mismos contextos y que en lenguaje cotidiano no logran ser diferenciados entre sí, lo que claramente puede influir en las concepciones que los estudiantes van generando y construyendo en torno a éstos conceptos, constituyendo dos orígenes muy relevantes en la construcción de concepciones alternativas:

**Influencia de las experiencias cotidianas** en donde “*el carácter reiterativo, sensorial y directo de dichas experiencias y, fundamentalmente, la forma habitual de interpretarlas mediante la utilización del pensamiento ordinario, conducen a interiorizar determinadas explicaciones como evidencias incuestionables*” (Carrascosa, 2005). Y por otra parte, como se mencionaba anteriormente, **la influencia de la comunicación verbal, visual y escrita** que se sustenta en la idea de que “*el lenguaje habitual está formado por palabras cuyo significado es fruto de las experiencias cotidianas vividas y sedimentadas por otras generaciones que nos han precedido, luego no es de extrañar que, en ocasiones, sea causa del origen o persistencia de ciertas ideas alternativas*” (Carrascosa, 2005). Es así como estas concepciones se van articulando de manera coherente en nuestra estructura mental, siendo persistentes en el sujeto y con tendencia a resistir un cambio conceptual, entonces cabe preguntarse ¿cómo podemos reorientar estas concepciones e ir construyendo una noción científica coherente desde la ciencia? Si bien responder una pregunta de este tipo nos llevaría a analizarla desde diversos puntos de vista, consideraremos en este caso uno el relevante, la utilización correcta de un lenguaje científico promovido en las clases de ciencias junto con la entrega de herramientas y estrategias adecuadas para enfrentarse ante la realidad presentada en la literatura o textos científicos de una manera más crítica y reflexiva, partiendo de la base que todo puede ser cuestionado y que ésta característica de cuestionarse la información que se recibe de distintos medios, es lo que ha permitido a lo largo de la historia ir construyendo el conocimiento científico (Greenbowe, 2003).

Ya hemos hablado de manera general cómo la articulación de un lenguaje científico adquiere importancia en la enseñanza de las ciencias y de cómo se van originando concepciones alternativas por medio de la percepción. Ahora bien, cabe mencionar un tercer origen de estas concepciones y es justamente el que ha dado sentido y ha orientado esta investigación: Los errores conceptuales u omisiones presentes en los libros de texto, ya sea en el cuerpo de un texto o bien en las imágenes utilizadas y en las leyendas que le acompañan. Estas concepciones se pueden ir originando en la educación escolar e ir así perdurando hasta la enseñanza superior, las cuales pueden ser reforzadas, a la vez, por textos específicos universitarios, que por distintos motivos, pueden promover a que las nociones construidas con anterioridad, en vez de ser reorientadas hacia un conocimiento científico aceptado, persistan y generen concepciones alternativas. Es por esta razón que es conveniente analizar un texto científico desde una postura

más crítica y reflexiva, actitud que claramente los docentes deben ir reforzando y trabajando con sus estudiantes, entregándoles herramientas conceptuales adecuadas que permitan lograr este fin.

Si observamos el currículum actual en ciencias, podemos visualizar la gran cantidad de contenidos que se encuentran presentes en él, lo que genera una serie de cuestionamientos, tales como: ¿Es necesario enseñar tantos contenidos? ¿Realmente estamos promoviendo aprendizajes en los estudiantes? ¿Estamos priorizando el aprendizaje significativo y/o sustentable de un contenido, o su mera memorización?, y así podríamos seguir enunciando más interrogantes que aún son un tema de reflexión dentro de quienes ejercen la enseñanza.

Si nos situamos dentro del contexto de la termoquímica/termodinámica y en cómo se encuentra articulado el currículum en esta asignatura, encontramos una serie de contenidos y conceptos que son presentados al estudiantado cuando se encuentran cursando su tercer año de enseñanza media, conceptos tales como: Energía, Calor, Trabajo, Temperatura, entre otros. Siendo estos conceptos definidos y entendidos en el área de la fisicoquímica, que sirven como base para entender y comprender una serie de fenómenos macroscópicos, y una amplia gama de procesos físicos y químicos. Es en este sentido que la enseñanza de este contenido debe ser adecuada, para que así posteriormente, al analizar otro contenido de química, éste se realice con una base conceptual sólida, correcta y coherentemente estructurada, que permita abordar el resto de los contenidos del currículum en ciencias de buena forma, permitiendo así ir comprendiendo las temáticas abordadas y construyendo un cuerpo de conocimiento adaptado a las exigencias actuales de la ciencia y la sociedad, que permita ser divulgado y entendido por quién desee acceder a él. Todo esto constituye un desafío para quienes optamos por la enseñanza de las ciencias y que debe ser incorporado por todos, con el objetivo de que logremos avances significativos en la alfabetización científica de la comunidad.

## 5. Análisis de textos

La presente investigación tiene por objetivo identificar si, en los textos que abordan la primera ley de la termodinámica, se logra establecer una clasificación ontológica adecuada y un patrón causal que evidencie el cumplimiento del enunciado de la ley cero y primera ley de la termodinámica, siendo éstos conceptos los de **Energía, Energía Interna, Calor y Trabajo**. Junto

con esto, es relevante desde el punto de vista pedagógico lograr reflexionar acerca de cómo el contenido, desde textos específicos del área de fisicoquímica, llega hasta niveles educacionales inferiores, identificando a través de este análisis, los posibles errores que se comenten y cuáles son las grandes diferencias entre ellos. Para esto, inicialmente se han seleccionado cinco textos al azar, siendo tres específicos del área estudiada, uno de química general y finalmente un texto del estudiante de Tercero y Cuarto Medio, los que se detallan en la tabla N°3

Tabla N°3: Presentación de los textos utilizados para el análisis

<b>Texto</b>	<b>Editorial</b>	<b>Autor</b>	<b>Año</b>	<b>Páginas</b>	<b>ID</b>
Química física	Médica Panamericana	De Paula, A., & De Paula, J	2007	28-40	L1
<i>Principios de química: los caminos del descubrimiento</i>	Médica Panamericana.	Atkins, P. W., & Jones, L.	2006	198-207	L2
Fisicoquímica	McGraw-Hill Interamericana de España S.L.	Chang, R.	2008	76-84	L3
Fisicoquímica	Compañía Editorial Continental.	Laidler, K. J., & Meiser, J. H.	2002	45-54	L4
Texto del estudiante química 3°-4° Medio	Ediciones Calycanto	Cabello, M.	2015	21-22, 26, 30-36.	L5

El análisis del texto, imágenes y leyendas llevado a cabo se resume en las 3 tablas que se presentan a continuación, las que poseen determinadas categorías de análisis, que permiten realizar el primer acercamiento hacia el estudio propuesto. En la **tabla N°4** se utilizan tres categorías de análisis. La primera de ellas hace referencia a si en el texto se define explícitamente el concepto, para posteriormente, en la segunda categoría, verificar si se encuentra bien definida, de acuerdo a las categorías ontológicas que han sido definidas con anterioridad. Luego, en una tercera categoría se analizará la evidencia de un patrón causal de los procesos: Variación de energía interna, calor y trabajo, asociado a los parámetros termodinámicos o bien, propiedades del sistema. De manera análoga, en la **tabla N°5** se realizará el mismo análisis para la primera ley de la termodinámica en tres sistemas de interés. Finalmente, en la **tabla N°6** se analizarán algunos de los conceptos mencionados, en base a las contradicciones presentadas en el texto, entendiendo estas como situaciones en las que el concepto es definido en el cuerpo del texto, pero que posteriormente al ser aplicado en alguna explicación, leyenda de imagen, entre otras. Su utilización se contradice con la definición antes realizada.

Tabla 4: Definición y clasificación ontológica de conceptos de termodinámica

Categorías de Análisis		L1	L2	L3	L4	L5
¿Se define el concepto?	Energía	P	P	A	P	P
	Energía interna	P	P	P	P	P
	Calor	P	P	P	P	P
	Trabajo	P	P	P	P	P
¿Se define Adecuadamente?	Energía	P'	P	A	P	P
	Energía interna	P	P	P	P	P
	Calor	P	P	P	E	E
	Trabajo	E	E	P	E	P'
¿Se evidencia Patrón de Causalidad?	Variación	P	P	P	P	P
	Energía interna					
	Calor	P	P	P	P	P
	Trabajo	P	P	P	P	A

E = Error de clasificación ontológica, P= Presente, A= Ausente, P'= Presente pero definido operacionalmente.

## 6. Análisis de resultados

A través de los resultados obtenidos es posible rescatar algunos aspectos que se relacionan directamente con los objetivos de esta investigación, siendo estos:

Es posible identificar que los conceptos que están asociados a la Primera Ley de la Termodinámica son definidos en la mayoría de los textos analizados, sin embargo, en el caso del Calor y del Trabajo, sólo unos textos logran asociar estos conceptos como procesos como manifestaciones de energía que se presentan en la trayectoria de un cambio del estado de un sistema termodinámico. Fue posible evidenciar que en (Laidler & Meiser, 2002) se menciona que [...] *El calor y el trabajo se hacen evidentes sólo durante el cambio de un estado a otro y carecen de significado cuando el sistema permanece en un estado particular; son propiedades de la trayectoria y no del estado* [...] o bien, para el caso del trabajo, como se menciona en (Atkins & Jones, 2006; De Paula & De Paula, 2007) [...] *En termodinámica, la propiedad física fundamental es el trabajo* [...]

Es en este sentido que ambas proposiciones corresponden a un **error ontológico**, ya que se estaría utilizando incorrectamente el concepto de “propiedad”, el cual es entendido como una característica o atributo propio de las cosas, que bien puede ser inherente a ellas (como lo es el

caso de la energía y otras propiedades trans-fenoménicas) o bien, dependiente de un sujeto cognoscente (como lo es el color y otras propiedades fenoménicas). Ahora bien, se reconoce que si el sistema no experimenta un cambio de estado, entendiendo este como un cambio de un estado inicial a uno final, no podríamos hablar de “Q” y “W”, sin embargo, utilizan el concepto de propiedad para referirse a éstos. Es ahí la inconsistencia en la proposición analizada, ya que las propiedades son de los objetos (concretos o abstractos) y no así de los procesos.

Si nos referimos a la “Energía” el concepto es definido principalmente como energía interna, lo cual tiene bastante sentido si entendemos que las propiedades materiales existen, siempre y cuando, exista el objeto material a la que esté asociada, y en este sentido los textos hacen referencia a la energía como una propiedad de un sistema termodinámico (Energía interna). Ahora bien, cabe mencionar que en el texto escolar se define el concepto de energía de manera general, es decir que [...] *corresponde a una propiedad asociada a los objetos y sustancias, y se manifiesta en las transformaciones que ocurren en la naturaleza [...]* a lo cual sólo deberíamos agregar que es de “Todos los objetos **materiales**”, sin embargo, logra definirla adecuadamente, proporcionando así una visión general de lo que es la energía de una manera clara y entendible para el público al que es transmitido. Esta definición sólo se logró evidenciar en dicho texto, ya que el resto, Universitarios cabe mencionar, tales como (Atkins & Jones, 2006; De Paula & De Paula, 2007) sólo aluden a que [...] *La energía interna de un sistema es su capacidad de efectuar trabajo [...]*, definición que si bien es correcta desde el punto de vista que la energía permite la interacción de las cosas materiales, permitiendo así la mutabilidad de éstas, no logra entender a la energía como la “Propiedad Universal”, pero si de una forma meramente operacional. Al igual que para el caso del “W” que es definido y entendido en el texto escolar, desde la física, mediante la presentación de la fórmula:

$$W = F \times d$$

Pero que no logra abordarse el trabajo como un proceso desde la química, en el cual intervienen directamente las propiedades de V y P.

Tabla 5: Patrones de causalidad para la presentación de la primera ley de la termodinámica en textos científicos.

PRIMERA LEY	Y	L1			L2			L3			L4			L5		
		C	M	E	C	M	E	C	M	E	C	M	E	C	M	E
	Sistema adiabático	G, T	T	G, T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	-	-	-
	Sistema Diatérmico	G, L	T	G, L	T	T	T	E	-	T	E	-	T	-	-	-
	Sistema Cerrado	-	-	T	-	-	T	-	-	T	-	-	T	-	-	T

C: Causa, M: Mecanismo, E: Efecto, L: leyenda del gráfico o imagen E: Error de tipo ontológico, (-): no se presenta

- T: Se refiere a la evidencia explícita de que en el **texto** se presenta, ya sea, la causa, mecanismo o efecto del proceso.
- G: Se refiere a que en un **gráfico** se evidencia explícitamente la relación de variables causa-efecto.

La tabla 4 fue dividida en tres sistemas de interés en los que se analizó cómo estaba presentada la primera ley de la termodinámica, y la razón particular de por qué se dividió de esa forma, es principalmente porque cada uno de los sistemas mencionados posee una causa y un mecanismo distinto, debido a las variables o parámetros termodinámicos involucrados en el proceso, es por esta razón que se considera apropiado poder hacer referencia a cada uno de ellos.

Si mencionamos algunos aspectos relevantes luego de analizar la tabla 4, podemos destacar que en los cinco textos se explicita el efecto general sobre la energía interna de un **sistema cerrado**, sin embargo, luego de mencionar que ésta varía, no se hace referencia a cómo es que llega a hacerlo, es decir, mediante qué causa y determinado mecanismo se logra la variación de la energía interna de dicho sistema. Ahora bien, en todos los textos aparece la primera ley como un enunciado matemático, siendo este:  $\Delta U = Q + W$ , pero cabe preguntarse ¿Qué información nos entrega esta fórmula?, a lo cual podemos responder que constituye solo una relación matemática entre las variables involucradas, que no aluden explícitamente a las causas que gatillan distintos mecanismos por los cuales podemos variar la energía interna del sistema en cuestión, información que adquiere relevancia desde el marco de referencia considerado en esta investigación.

Por otra parte, en relación a un **sistema diatérmico** cabe destacar el que en dos textos se considera como causa de la variación de la energía interna el proceso de calor, que si bien llega a ser una de las causas por las que ocurre esto, Q en esencia forma parte del mecanismo que permite variar la energía interna del sistema producto de una diferencia de temperatura. Es por esta razón que consideramos, para este caso, un **error ontológico**, el que se considere un proceso “Q” como causa de otro proceso, en especial, cuando en los mismos textos han definido que la energía interna del sistema depende únicamente del estado actual del sistema, que a su vez está determinado por los parámetros termodinámicos (T, V, P), siendo estos, quienes logren desencadenar un mecanismo que culmine con  $\Delta U$ .

Finalmente, pero no menos importante, es mencionar que el libro de texto escolar si bien menciona la primera ley y la enuncia matemáticamente, no logra explicitar los patrones causales que permitirían variar la energía interna de un sistema termodinámico, lo que permitiría preguntarse, si bien existen distintos tipos de sistemas ¿cómo se aplica la primera ley de la termodinámica a cada uno de ellos? ¿cómo podría variar la energía interna de un sistema, si éstos, a su vez poseen distintas características?, respuestas que claramente no serían fácil de contestar si no se nos entregan las herramientas para poder explicar dichos procesos.

Tabla 6: Contradicciones presentes en los textos de ciencia para la presentación de la primera ley de la termodinámica

	L1	L2	L3	L4	L5
<b>Contradicciones</b>	<b>Calor</b>	“C2”		“C1”	“C3-C4”
	<b>Variación Energía interna</b>				“C5”

C= contradicción

En relación a la categoría de “contradicciones”, esta hace referencia a que la utilización del concepto se contradice con la definición que en el mismo texto se entrega, y las más relevantes recaen en el concepto de calor, que es definido, en (Atkins & Jones, 2006) como [...] *energía transferida como resultado de una diferencia de temperatura* [...], sin embargo se logró observar en una imagen presentada, la siguiente sentencia [...] *La reacción endotérmica entre el tiocianato de Amonio  $NH_4SCN$  y el hidróxido de Bario octahidratado,  $Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$ , absorbe*



*mucho calor* y puede causar vapor de agua en el aire que se congela en la parte externa del vaso de precipitación [...] lo que podría interpretarse, como que el “calor” es algo que puede ser absorbido o liberado, entrar o salir, en un sistema y no como un proceso que resulta de una diferencia de temperatura. Es común observar que en el lenguaje científico utilizado en los textos, se realizan una serie de “concesiones” a modo de hacer más entendible un término para los lectores, sin embargo, esto puede llevar a desarrollar concepciones alternativas en torno al concepto estudiado y junto con esto, caer en una polisemia del lenguaje científico, característica que claramente no debiera acompañarle. Otros ejemplos del **texto escolar** son asociar el calor a una sensación, lo que podría confundirse con el concepto de “sensación térmica”, permitiendo desvincular el concepto de calor a un proceso y asociándolo a algo perceptible por un sujeto, lo cual, estaría errado. Además, el utilizar sentencias como el de “sentir calor” se aleja de lo que es el desafío actual en las clases de ciencias, que es enseñar a hablar, leer y escribir ciencias, utilizando un lenguaje preciso y claro, diferenciado del lenguaje cotidiano altamente polisémico.

## 7. Conclusiones

Los conceptos involucrados en la primera Ley de la termodinámica, son en sí, difíciles de poder comprender completamente, en especial cuando son utilizados en diversos contextos cotidianos. Poder otorgarle una definición ontológica al concepto permite poder visualizar claramente en qué consiste dicho término y cómo es que resulta conveniente utilizarlo. Es importante que esto quede explícito en un texto científico debido a que es un medio de transmisión de información altamente utilizado y que por lo general, asegura cierto grado de credibilidad. Los análisis presentados con anterioridad, nos dan cuenta de que existen errores, que por más pequeños o grandes que sean, podrían llegar a generar y desarrollar ideas o concepciones alternativas con respecto al contenido, desencadenando así el que los estudiantes se apropien equívocamente de los conceptos y por ende, los utilicen de manera inadecuada en los contextos de los que forman parte.

Por otra parte, las leyes naturales afirman patrones de causalidad conectados con un mecanismo que permite provocar un determinado efecto, sin embargo, esto no logra visualizarse completamente en los textos analizados y que a la primera ley se le atribuyen aspectos meramente matemáticos u operacionales, generando esto el que la química no promueva la reflexión del

contenido, en el que seamos capaces de explicar cómo ocurren diversos procesos químicos y físicos, conectados con un mecanismo microscópico, que si bien no es de interés de la fisicoquímica, ya que ésta trata fenómenos macroscópicos, creemos que es importante poder establecer éstas relaciones entre los tres niveles de representación de la materia, porque sólo así se podrá generar un conocimiento integrado, mediante el establecimiento de relaciones entre los hechos perceptibles (fenoménicos) y los que no lo son, siendo estos últimos la mayoría de los hechos que ocurren en la realidad y que no serán percibidos por el sujeto, pero sí entendidos por éste en la medida que promovamos el establecimiento de conjeturas, la creación de modelos, la relación entre los niveles de representación, etcétera.

Por último, es importante señalar que si queremos que nuestros estudiantes aprendan ciencias, debemos trabajar con ellos la adquisición de un lenguaje más apropiado, claro y preciso, para que luego sean capaces transmitir ideas coherentemente fundamentadas y articuladas

Es nuestro desafío poder lograr estos objetivos, y así mediante el lenguaje, ir construyendo las nociones o significados necesarios para comenzar a conocer la realidad y así, posteriormente comprender y explicar los hechos y fenómenos que ocurren en ella.

**Agradecimientos.** El presente trabajo es derivado de proyecto DREAMS 037.307/2015 de la Dirección de Investigación de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Asimismo es un producto científico derivado de Proyecto Fondecyt 1150659 financiado por la Comisión Nacional Científica y Tecnológica del Gobierno de Chile (CONICYT).

## **Bibliografía**

- Atkins, P.W., & Jones, L. (2006). Principios de química: los caminos del descubrimiento: Médica Panamericana.
- Bunge, M. (1977). Treatise on Basic Philosophy: Volume 3: Ontology I: The Furniture of the World: D. Reidel.
- BUNGE, M. (1979). Treatise on Basic Philosophy: Ontology II: Springer Netherlands.
- BUNGE, M. (1983a). Epistemology & Methodology I:: Epistemology & Methodology I: Exploring the World: Springer Netherlands.
- BUNGE, M. (1983b). Treatise on Basic Philosophy: Volume 6: Epistemology & Methodology II: Understanding the World: Springer Netherlands.
- Bunge, M. (2000). Energy: Between physics and metaphysics. *Science and Education*, 9(5), 457-461.
- Bunge, Mario. (1974a). Semantics II: Interpretation and Truth: Semantics II: Interpretation and Truth: Springer.
- Bunge, Mario. (1974b). Treatise on Basic Philosophy: Semantics I: Sense and Reference: Springer Netherlands.
- Bunge, Mario. (2007). La investigación científica. Narcea: Madrid.
- Carrascosa, J. (2005). El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (parte I). Análisis sobre las causas que la originan y/o mantienen. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 2, 183-208.
- De Paula, A., & De Paula, J. (2007). Química Física: Médica Panamericana.
- Greenbowe, T.J., Meltzer, D. E. (2003). Student learning of thermochemical concepts in the context of solution calorimetry. *International Journal of Science Education*, 25(7), 779-800.
- Laidler, K.J., & Meiser, J.H. (2002). Físicoquímica: Compañía Editorial Continental.
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Schwartz, R. S. (2002). Views of Nature of Science Questionnaire: Toward Valid and Meaningful Assessment of Learners' Conceptions of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 497-521. doi: 10.1002/tea.10034
- Levine, I.N. (2014). Principios de fisicoquímica: McGraw Hill.
- Michel, J. B., Kui Shen, Y., Presser Aiden, A., Veres, A., Gray, M. K., Pickett, J. P., . . . Aiden, E. L. (2011). Quantitative analysis of culture using millions of digitized books. *Science*, 331(6014), 176-182. doi: 10.1126/science.1199644
- Neus Sanmartí, Mercè Izquierdo, Pilar García. (1999). Cuadernos de pedagogía, 281, 54-58.
- Quiroz, W., & Rubilar, C. M. (2015). Natural laws and ontological reflections: the textual and didactic implications of the presentation of Boyle's law in general chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 16(3), 447-459. doi: 10.1039/c4rp00251b
- Sabariego del Castillo, J. . (2006). Alfabetización Científica. Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación CTS+I.