



<http://doi.org/10.15446/ideasyvalores.v69n172.65269>

¿SE PUEDE SER REALISTA EN TORNO A LAS LEYES DE LA TERMODINÁMICA?



CAN ONE BE A REALIST WITH RESPECT TO THE LAWS OF THERMODYNAMICS?

EDGAR EDUARDO ROJAS DURÁN*

Universidad Autónoma de Querétaro - Querétaro - México

.....
Artículo recibido el 25 de junio de 2017; aprobado el 28 de agosto de 2017.

* *rode8505@yahoo.com.mx*

Cómo citar este artículo:

MLA: Rojas Durán, E. E. “¿Se puede ser realista en torno a las leyes de la termodinámica?” *Ideas y Valores* 69.172 (2020): 103-124.

APA: Rojas Durán, E. E. (2020). ¿Se puede ser realista en torno a las leyes de la termodinámica? *Ideas y Valores*, 69(172), 103-124.

CHICAGO: Edgar Eduardo Rojas Durán. “¿Se puede ser realista en torno a las leyes de la termodinámica?” *Ideas y Valores* 69, n.º 172 (2020): 103-124.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.

RESUMEN

En el estudio de las teorías filosóficas sobre las leyes naturales, se ha prestado poca atención a las leyes de la termodinámica. El artículo busca aplicar los marcos conceptuales de tres teorías relevantes, la universalista, la disposicionalista y la contrafactualista, para reformular dichas leyes, y mostrar cómo los marcos conceptuales de las dos primeras no resultan adecuados para tal reformulación, pero sí lo es el de la tercera. Si esta teoría se considera realista, se puede ser realista en este caso.

Palabras clave: antirrealismo, filosofía de la ciencia, leyes naturales, realismo, termodinámica.

ABSTRACT

Little attention has been paid to the laws of thermodynamics in the study of philosophical theories regarding natural laws. The article seeks to apply the conceptual frameworks of three relevant theories, universalism, dispositionalism, and counterfactualism, to reformulate those laws and show that the conceptual frameworks of the first two turn out to be inadequate for that reformulation, while the third one is adequate. If this theory is considered realist, then one can be a realist in this case.

Keywords: antirealism, philosophy of science, natural laws, realism, thermodynamics.

Introducción

El presente trabajo presenta tres formas posibles de reformular las leyes de la termodinámica clásica o termostática; cada una corresponde a una teoría filosófica de leyes naturales. Esta reformulación tiene la finalidad de mostrar la manera en que algunas de las teorías filosóficas de leyes naturales más relevantes podrían dar cuenta de leyes naturales fuera del ámbito tradicional o favorito de la filosofía de la ciencia: la mecánica de Newton. Dos de estas tres teorías filosóficas presentan dificultades para reconstruir satisfactoriamente todas las leyes que encontramos en el seno de la termodinámica. Asumiendo que una teoría filosófica de leyes tiene que ser capaz de reconstruir satisfactoriamente todas y cada una de las leyes de la termodinámica para considerar que nos da cuenta cabal de por qué son, de hecho, leyes, se concluye que solo una de estas teorías parece dar cuenta de las leyes de la termodinámica en la medida en que todas y cada una de sus leyes pueden ser reformuladas satisfactoriamente en los términos propuestos por dicha teoría. Si esta teoría filosófica puede considerarse como realista, entonces podríamos ser realistas en torno a las leyes de la termodinámica.

La estructura del trabajo es la siguiente. En la primera sección se presentan de forma breve tres teorías filosóficas de leyes relevantes, la universalista de Tooley-Dretske-Armstrong, la disposicionalista de Bird y, finalmente, la contrafactualista de Lange. En la segunda sección se presenta brevemente el objeto de estudio de la termodinámica, luego se exponen cada una de las leyes que encontramos en el seno de su versión clásica para intentar reformularlas en términos de las teorías filosóficas presentadas en la sección anterior. En la tercera y última sección se concluye que solo una de estas teorías filosóficas parece dar cuenta de las leyes de la termodinámica, a saber, la contrafactualista. Si podemos considerar esta teoría como una realista de leyes naturales, entonces podríamos ser realistas de las leyes de la termodinámica.

Tres formas distintas de caracterizar las leyes naturales desde la filosofía de la ciencia

En esta sección se exponen de manera breve tres teorías filosóficas de leyes naturales. La primera es la atribuida a Tooley (1977), Dretske (1977) y Armstrong (1983). Esta caracteriza las leyes naturales como una relación necesaria y contingente entre universales. La segunda es la propuesta por Alexander Bird (2005a, 2005b, 2007). Esta concibe las leyes naturales como una relación metafísicamente necesaria entre propiedades de manifestación y de estímulo. La tercera y última es la propuesta por Marc Lange (2000, 2004, 2005, 2006, 2009). Esta piensa las leyes como aquellas verdades que preservan su valor de verdad bajo

un gran número de suposiciones de circunstancias contrafácticas. Esta propiedad, según él, refleja su carácter necesario.

La razón por la que se presentan estas tres teorías filosóficas y no otras reside en su relevancia en la discusión filosófica en torno a leyes naturales. La teoría universalista de leyes es relevante porque fue la primera caracterización de leyes que logró trazar una distinción entre regularidades o generalizaciones contingentes verdaderas y leyes naturales, siendo a la vez consistente con la teoría de condiciones de verdad de los condicionales contrafácticos de Lewis. Sin embargo, algunos autores han mostrado que esta teoría enfrenta algunas dificultades. Una de estas tiene que ver con cierta tensión entre el carácter necesario y contingente de la relación de *necesitación* entre universales (cf. Bird 2007). Esta tensión parece surgir de la concepción *categoricista* de propiedades que asume Armstrong (1983) cuando nos presenta su teoría metafísica complementaria de universales y la idea de que la relación de *necesitación* entre universales les confiere a estos un tipo de relación necesaria que implica su correspondiente regularidad, distinguiéndose así de las leyes naturales. Por otra parte, la teoría disposicionalista de leyes es relevante porque parece superar la tensión que encontramos en el seno de la teoría universalista en cuanto se refiere al carácter contingente pero necesario de la relación de *necesitación* nómica entre universales, sin dejar de lado los logros de su antecesora. Por último, la teoría propuesta por Lange es relevante porque parece superar el círculo vicioso que encontramos en las caracterizaciones previas de leyes en términos de condicionales contrafácticos. El círculo vicioso que encontramos en estas consiste en afirmar que la distinción entre leyes y regularidades estriba en que las primeras apoyan contrafácticos y la segundas no, entendiendo por “apoyar” una relación entre los valores de verdad de ambas, tal que para determinar el valor de verdad de algunos contrafácticos se requiere saber cuáles generalizaciones verdaderas lo son en virtud de algún tipo de necesidad y no meramente por contingencia, es decir, se requiere tener conocimiento de las leyes naturales. Al definir la relación entre leyes y contrafácticos en otros términos es que parece que Lange logra evitar caer en un círculo vicioso.

La concepción universalista

Esta caracterización de leyes las piensa como un universal de segundo orden que vincula a dos universales de primer orden. En otras palabras, como una relación de *necesitación* nómica –término acuñado por Tooley (1977)– (universal de segundo orden) entre dos o más universales de primer orden. La relación de *necesitación* nómica posee un carácter de necesario distinto al sentido lógico o metafísico. Por consiguiente, precisando un poco más, una ley consiste en una relación

necesaria y contingente denominada necesidad nómica (N) entre dos universales, digamos F y G. Esta se simboliza de la siguiente manera $N(F,G)$. N es la responsable de que una ley implique su respectiva regularidad distinguiendo así entre leyes y regularidades. Es decir, si $N(F,G)$ –una ley–, entonces $\forall x(Fx \rightarrow Gx)$ –una regularidad–. En otras palabras, si es una ley que todos los F son G, entonces para cualquier x , si x es un F también es un G (cf. Armstrong 77-99). Si esta implicación se sostiene se puede decir que las regularidades o uniformidades humanas son explicadas por las leyes naturales y distintas a estas. Sin embargo, dentro de esta teoría, N no garantiza que, en otro mundo posible, si un individuo x es F, también sea G, debido a que no tiene un carácter modal lógico ni metafísico.

Siguiendo esta caracterización de leyes, tendríamos, por ejemplo, que la ley de las cargas se simbolizaría de la forma $N(F, G)$, donde F sería el universal que abarca todas las instancias de la propiedad “estar cargado negativamente” y G sería otro universal que incluye todas las instancias de la propiedad física “repulsión”. Ambos están relacionados por la necesidad nómica. Esta relación garantizaría su respectiva regularidad. Es decir, si es una ley que los cuerpos cargados negativamente se repelen entre sí, entonces todo x que esté cargado negativamente repelerá a cualquier otro individuo que también esté cargado negativamente. Sin embargo, esta relación permite que objetos con la propiedad “estar cargado negativamente” puedan atraerse entre sí en vez de repelerse o puedan tener algún otro tipo de comportamiento en algún otro mundo posible.

La concepción disposicionalista

La teoría filosófica de leyes propuesta por Bird (2005a, 2005b, 2007) afirma que una ley natural consiste en una relación necesaria entre potencias. Las potencias son las propiedades fundamentales o más básicas que tienen las entidades relacionadas. Tales propiedades tienen un carácter esencialmente disposicional. En virtud de este carácter es que estas vinculan una determinada propiedad de manifestación (M) con cierta propiedad de estímulo (S). Si un objeto o entidad posee una de estas propiedades, entonces se comportará necesariamente de una determinada manera y no de otra. Esta teoría asume como correctas la tesis del esencialismo disposicional de Shoemaker (1980) y de Ellis y Lierse (1994), y el análisis condicional de las disposiciones de Lewis. A partir de ambas, sostiene Bird, se llega a la forma general que tradicionalmente se ha asociado con estas: la de una generalización verdadera, es decir, “para cualquier x , si x posee una potencia P y se presenta el estímulo S, entonces se presentará la manifestación M”. La necesidad involucrada en las leyes, según esta caracterización, proviene o emerge

de los rasgos modales de las propiedades que poseen las entidades relacionadas. Como consecuencia de esto, el carácter modal de dicha relación necesaria es metafísico.

Así, dentro de esta teoría, la ley de las cargas es una relación metafísicamente necesaria entre dos entidades que poseen la propiedad de estar cargadas negativa o positivamente. Esta propiedad tiene un carácter esencialmente disposicional tal que necesariamente si un cuerpo la posee y está cercano a otro con la misma propiedad (estímulo) será atraído o repelido (manifestación). La propiedad de “estar cargado negativa o positivamente” es la responsable de la relación de atracción o repulsión entre los objetos que la tengan. Si un objeto tiene la propiedad de estar cargado negativamente, como los electrones, iones de cloro, gotas de lluvia, etc., entonces necesariamente en este mundo y cualquier otro posible, será atraído por un cuerpo que tenga la propiedad de estar cargado positivamente, como los positrones, protones, etc. La razón por la que esto es así estriba en que la propiedad “estar cargado” es una propiedad fundamental y esencialmente disposicional tal que no son posibilidades genuinas que si los cuerpos tienen dicha propiedad se comporten de manera distinta a la que de hecho lo hacen en presencia de otros cuerpos cargados eléctricamente.

La concepción contrafactualista

Esta concepción afirma que las leyes conforman conjuntos *subnómicamente* estables. Un conjunto subnómicamente estable es aquel que tiene como miembros verdades tales que presentan un tipo sobresaliente de invariancia, es decir, preservan su valor de verdad sin importar que supongamos determinados hechos hipotéticos. En otras palabras y de manera general, un conjunto de verdades es estable cuando todos sus miembros siguen siendo verdaderos bajo cualquier circunstancia contrafáctica que se suponga y sea lógicamente consistente con tales verdades tomadas en conjunto.¹ Así, el conjunto que contiene todas y solamente las leyes naturales es un conjunto subnómicamente estable. Basta con que incluya una regularidad para perder esta propiedad.

1 Una suposición fundamental en la caracterización de Lange es que algunos condicionales contrafácticos no requieren de leyes naturales para determinar su valor de verdad. Si uno acepta esto, entonces esta caracterización no resulta ser circular. Si uno no lo acepta, y parece haber razones para hacerlo, entonces termina siendo circular. Una razón es que parece para formular siquiera los condicionales contrafácticos relevantes para los científicos sí se requiere saber cuáles son las leyes naturales que de hecho rigen nuestro mundo. Si esto último es cierto, las leyes naturales tienen una prioridad sobre los condicionales contrafácticos. Esto no niega el hecho de que puede haber contrafácticos que puedan ser verdaderos o falsos en virtud de otros enunciados generales verdaderos que difícilmente se aceptarían como leyes naturales.

Así, bajo esta caracterización se llega a la afirmación de que las leyes naturales rigen tanto lo que ocurre efectivamente en el mundo actual como lo que habría sucedido bajo condiciones que no ocurren de manera efectiva en este mundo. Por otro lado, los condicionales contrafácticos expresan el hecho de que las leyes naturales todavía se habrían mantenido si otras cosas distintas hubieran cambiado.

Esta caracterización implica que las leyes se distinguen de las regularidades o accidentes en virtud de que guardan una determinada relación *sui generis* con los condicionales contrafácticos. Dicha relación *sui generis* consiste en que las leyes no cambian de valor de verdad bajo suposiciones contrafácticas. Esta relación hace evidente el carácter necesario de las leyes. Este carácter es lo que las distingue en última instancia de las regularidades o accidentes. En otras palabras, las leyes son necesariamente verdaderas, mientras que las regularidades o accidentes no.

Así caracterizadas las leyes, tenemos, por ejemplo, que la ley de las cargas es una ley genuina debido a que sigue siendo verdadero que “todos los cuerpos negativamente cargados se repelen entre sí” a pesar de suponer que, contrario a lo que ocurre en nuestro mundo, los protones tuviesen carga negativa y los electrones positiva. Es decir, si un individuo *y* fuese un electrón, pero de hecho es un protón, entonces repelería a un individuo *x* que es un electrón también, dado que es una ley que todos los cuerpos negativamente cargados se repelen entre sí.

Antes de pasar a la reformulación de las leyes expuestas en la primera sección en términos de las teorías filosóficas presentadas aquí, es pertinente mencionar qué es lo que tienen en común estas tres caracterizaciones. Las primeras dos hacen una distinción ontológica entre leyes naturales y regularidades o accidentes. La distinción estriba en su carácter necesario. Cada una caracteriza este carácter de distintas maneras. La teoría universalista lo caracteriza como contingente y la disposicionalista como metafísico. Ambas sostienen que gracias a su carácter necesario y general las leyes explican las regularidades en virtud de que las implican. La tercera establece la distinción entre leyes y accidentes o regularidades en términos de la noción de estabilidad subnómica. Esta consiste en la propiedad de un conjunto de verdades de mantenerse como verdaderas a pesar de que se supongan un gran número de circunstancias contrafácticas. Esta característica refleja su carácter modal. Por lo tanto, en última instancia, lo que distingue las leyes de los accidentes es este carácter modal. Las primeras son verdaderas necesariamente, mientras que los segundos no. El tipo de modalidad de las leyes naturales, desde la perspectiva de Lange, es de un tipo distinto al que encontramos en las leyes de la lógica-matemática y en las leyes de segundo orden o metaleyas como los principios de conservación. La diferencia estriba en la cantidad de suposiciones

de circunstancias contrafácticas que resisten. Las verdades de la lógica-matemática resisten un mayor número que las leyes de segundo y primer orden. Mientras que las leyes de segundo orden resisten más que las de primer orden. Y, finalmente, las de primer orden resisten una cantidad menor que las otras dos. Así, todas estas se diferencian de los accidentes en virtud de su carácter necesario y se diferencian entre sí por el grado de resistencia que muestran frente a suposiciones contrafácticas. Esto último trae como resultado una jerarquía modal tal que la necesidad más fuerte la tienen las verdades de lógica-matemática, una intermedia las leyes de segundo orden, y la más débil las leyes de primer orden como la ley de las cargas.

Debido a que las tres teorías aquí presentadas comparten la idea de que hay una distinción entre leyes y regularidades o accidentes es que podemos afirmar que son realistas en torno a leyes. Esta idea es contraria a la que sostienen los partidarios del antirrealismo de leyes. Esta otra posición no traza ninguna distinción entre leyes y regularidades o accidentes. Es decir, las identifica reduciendo las primeras a las segundas. Por lo tanto, es equivalente a un escepticismo de leyes. Esta posición fue la que defendió Hume (1902) a partir de su crítica a la idea de conexión necesaria y hoy en día es defendida por todos aquellos partidarios de la tesis del mosaico humeano. Según esta tesis, el mundo está compuesto por la totalidad de los hechos particulares. Si lo supiésemos todo, es decir, si tuviésemos el mosaico completo, las leyes naturales serían una mera abreviación o conjunción de una sucesión de hechos particulares similares entre sí carentes de un vínculo necesario entre ellos.

Las leyes de la termodinámica reformuladas desde tres puntos de vista filosóficos

Posterior a la breve exposición de tres teorías filosóficas relevantes de leyes naturales, se pretende en esta sección aplicar sus respectivos marcos conceptuales para reformular las leyes de la termodinámica clásica o termostática. Esto con la finalidad de mostrar la manera posible en que cada una de estas tres teorías filosóficas daría cuenta de todas ellas. Se mostrará que las dos primeras teorías filosóficas presentan algunas dificultades para reformular la ley cero y dificultades más serias para reformular la primera ley. Dificultades que conducen a la conclusión de que una reconstrucción adecuada de todas y cada una de las leyes de la termodinámica clásica por parte de ambas teorías filosóficas no es posible, pues basta con que una teoría filosófica de leyes no nos permita reconstruir una de las cuatro que encontramos en el seno de la termodinámica clásica para considerarla como inadecuada o incorrecta. En otras palabras, se asume aquí que una teoría filosófica de leyes es adecuada o correcta, si nos permite llevar a cabo una

reconstrucción adecuada o correcta de todas y cada una de las leyes de la termodinámica, mostrando así, en última instancia, por qué estas son de hecho leyes. En lo que concierne a la teoría contrafactualista de Lange y el empleo de su marco conceptual para reconstruir todas y cada una de las leyes de la termostática, encontramos que esta sí nos permite reconstruir adecuada o satisfactoriamente todas y cada una de las leyes en cuestión. En breve, asumiendo a lo largo de toda esta sección que una teoría filosófica de leyes resulta inadecuada o incorrecta si no nos permite reformular correcta o adecuadamente alguna de las leyes naturales en cuestión, llegamos a la conclusión de que la teoría filosófica de leyes de Lange es la única de las tres expuestas en este trabajo que nos dice satisfactoriamente por qué las leyes de la termodinámica son, de hecho, leyes, si asumimos que una reconstrucción adecuada o correcta nos brinda en última instancia una elucidación de por qué una ley natural de hecho lo es.

Antes de comenzar con la aplicación de los respectivos marcos conceptuales dados por las teorías filosóficas de leyes naturales expuestas en la sección anterior, me parece pertinente exponer brevemente y de manera general el objeto de estudio de la termodinámica.

El objeto de estudio de la termodinámica

Una forma de caracterizar la termodinámica es como aquella rama de la física que estudia los efectos de los cambios de la temperatura y las transformaciones de la energía en un amplio número de fenómenos (cf. Kestin 3). Otra manera de hacerlo es diciendo que la termodinámica subyace a y dilucida algunos de los conceptos más comunes de la vida cotidiana, tales como la temperatura, el calor y la energía (cf. Atkins 96).

El objeto de estudio de la termodinámica son los sistemas térmicos, conjuntos de elementos o partes en los que se llevan a cabo procesos de transformación de energía. En principio, casi cualquier cosa puede considerarse como un sistema, tal como un bloque de acero, un motor, un cuerpo humano, etc. La termodinámica se enfoca en las propiedades de este tipo de sistemas, tales como la temperatura, el calor y la energía interna, así como sus cambios de estado.

Lo que no forma parte de un sistema se denomina “alrededores”. Aquí es donde suponemos se ubican los observadores de los sistemas térmicos. Ellos son quienes determinan sus estados. La adición de los alrededores y el sistema da como resultado el *universo*. Por ejemplo, un vaso de precipitados con agua (sistema) inmerso en baño maría (alrededores) conforma el universo.

Hay varios tipos de sistemas. El tipo se determina mediante sus fronteras. Si la materia puede ser añadida o removida, entonces estamos frente a un *sistema abierto*. Por ejemplo, una bandeja es un sistema

abierto en la medida en que podemos agregar o quitar algún líquido, como agua, del recipiente. Si la materia no puede añadirse o removerse, entonces tenemos un *sistema cerrado*. Un ejemplo de este tipo de sistema sería una botella de vidrio con tapa cerrada y agua en su interior. Por último, si un sistema tiene una frontera que impide cambio alguno en él por parte de sus alrededores, se denomina “aislado”. Un ejemplo lo representa un frasco al vacío con café caliente en su interior.

Un sistema, en general, tiene varias propiedades que son fundamentales para determinar sus posibles estados. Las propiedades del sistema que le interesan a la termodinámica son la temperatura, la energía y el calor. Cada una de estas y sus relaciones son introducidas y definidas por las tres primeras leyes. La ley cero introduce y define la propiedad de equilibrio térmico, la primera ley la de energía (U) interna y la segunda la de entropía (S).

¿En qué sentido la ley cero de la termodinámica es una ley?

Para ver la forma en que quedaría reformulada la ley cero en términos de las tres teorías filosóficas es menester conocer lo que esta enuncia. Esta ley afirma que tres sistemas A, B y C que puedan colocarse en *contacto térmico*² están en equilibrio térmico entre sí cuando hemos descubierto que A está en equilibrio térmico con B habiendo contacto térmico entre ambos y, posteriormente, que B lo está también con C, habiendo contacto térmico entre ambos también (*cf.* Atkins 5).

El enunciado de la ley cero establece que el equilibrio térmico mutuo de los sistemas A, B y C implica que los tres tienen la misma temperatura. Lo más importante a remarcar es que la ley cero tiene como consecuencia la existencia de un criterio para establecer el equilibrio térmico: si las temperaturas de dos sistemas son la misma, entonces estarán en equilibrio térmico cuando se pongan en contacto a través de paredes conductoras de tal manera que un observador de ambos sistemas se percatará de que no hay algún cambio en cada uno de ellos. (*cf.* Atkins 5). Cabe mencionar que la ley cero es la base para la existencia de los termómetros (aparatos que miden la temperatura). Un dispositivo de estos es simplemente un caso especial del sistema B descrito anteriormente. Este dispositivo es un sistema con una propiedad que podría cambiar cuando entra en contacto con un sistema con *paredes diatérmicas*.³ Un termómetro típico hace uso de la expansión térmica

2 El contacto térmico se logra cuando se colocan las fronteras de dos sistemas en contacto permitiendo así la transferencia de calor entre ambos.

3 Este tipo de paredes son aquellas que son rígidas, pero permiten la conducción del calor entre sistemas cerrados que se encuentren en contacto. Típicamente este tipo

del mercurio o del cambio en las propiedades eléctricas del material. De esta manera, si tenemos un sistema B (el termómetro) y lo ponemos en contacto térmico con el sistema A, y encontramos que no hay cambio de estado en B, y luego ponemos a B en contacto con un tercer sistema C y también encontramos que no hay cambio en B, entonces podemos afirmar que los sistemas A y C están en equilibrio térmico, es decir, tienen la misma temperatura.

Esta ley puede reformularse de la siguiente manera: Si A, B y C son sistemas térmicos, y si A está en equilibrio térmico con B y B está en equilibrio térmico con C, entonces A estará en equilibrio térmico con C. Este enunciado así presentado es un condicional sin cuantificadores. Sin embargo, si queremos reformularla en términos de la teoría universalista hay que emplear cuantificadores universales. Por lo tanto, podríamos reformular el condicional anterior de la forma subsecuente: para cualesquiera tres sistemas térmicos, si el primero está en equilibrio térmico con el segundo y el segundo está en equilibrio térmico con el tercero, entonces el primero también lo está con el tercero. Este enunciado podría simbolizarse de la siguiente forma:

$$(i) \text{ "x,y,z } \{(S_x \& S_y \& S_z) \rightarrow [(E_{xy} \& E_{yz}) \rightarrow E_{xz}]\}$$

Donde S equivale a “es un sistema térmico” y E equivale a la relación “estar en equilibrio térmico con”.

Sean S_1 , S_2 y S_3 instancias del universal “ser un sistema térmico”. Entonces $\mathcal{N}[\text{si } E(S_1, S_2) \text{ y } E(S_2, S_3) \text{ entonces } E(S_1, S_3)]$, donde E designa el universal “estar en equilibrio térmico” y \mathcal{N} designa la relación universal de necesidad nómica.

Así, parece más bien que tenemos la forma de la regularidad que implicaría la ley. Para llegar a la ley de la forma concebida por los teóricos universalistas basta ahora con postular los universales involucrados en la relación de necesidad nómica. El primer universal involucrado sería aquel que tenga como extensión todas las instanciaciones de la propiedad “sistema térmico” de la misma manera en que el universal *humanidad* abarca todas las extensiones de los objetos que tienen la propiedad “ser humano”. Llamemos a este primer universal S. Luego, el segundo universal involucrado sería aquel otro que tenga como extensión todas las instanciaciones de la propiedad relacional “estar en equilibrio térmico con” de manera análoga en que el universal *amistad* comprende a todos los sujetos que tienen la propiedad relacional “ser amigo de”. Denominemos a este segundo universal E. Una vez que

.....
de paredes está hecho de metal, pero podría estar hecho de cualquier otro material conductor. Piénsese en los sartenes de cocina como un ejemplo.

tenemos los universales S y E falta vincularlos por la relación de necesidad nómica que implique (i). Así, parece que llegamos a $N(S, E)$. Sin embargo, ¿cómo podríamos traducir dicha simbolización? Una posibilidad es decir que es una ley que todo aquello que sea un sistema térmico estará en equilibrio térmico. Sin embargo, así traducido dista mucho de lo que (i) expresa y de lo que la ley cero en realidad expresa. Por lo tanto, nos enfrentamos al problema de clarificar cómo es que una relación de necesidad nómica N entre S y E, donde S es aquel universal que abarca a todos los individuos que son sistemas térmicos y E es aquel otro que comprende a todos los individuos que están en equilibrio térmico con otros, nos conduce al hecho de que para cualesquiera tres sistemas térmicos, si el primero está en equilibrio térmico con el segundo, y el segundo está en equilibrio térmico con el tercero, entonces el primero también lo está con el tercero.

Tal vez el problema radique en las propiedades relacionales *per se*. La teoría universalista debería darnos detalles de cómo lidiar con este tipo de propiedades de tal manera que la simbolización de las leyes como la ley cero de la termodinámica capture efectivamente lo que estas expresan y a los hechos generales a los que hacen referencia. Sin esta enmienda parece imposible poder decir que $N(S, E) \rightarrow "x, y, z \{ (Sx * Sy * Sz) \rightarrow [(Exy * Eyz) \rightarrow Exz] \}$ en la medida en que no podemos formular claramente cómo es que el antecedente implica el consecuente. Por lo tanto, parece que la teoría universalista no da cuenta de la ley cero de la termodinámica.

Pasemos ahora a la posible reformulación de la misma ley en términos de la teoría filosófica de Bird. Para esto recordemos que esta teoría también sostiene que las leyes implican su correspondiente regularidad o enunciado general verdadero. Por lo tanto, una vez que tenemos (i) el problema consiste en encontrar una manera de reformular la ley cero de modo tal que lo implique. Por otro lado, si evocamos la caracterización dada por Bird, las leyes son una relación disposicional entre propiedades de estímulo y de manifestación. Por lo tanto, habría que ver si las propiedades “ser sistema térmico” y “estar en equilibrio térmico con” son susceptibles de dicha reformulación. En otras palabras, habría que tener una respuesta positiva a la pregunta ¿son las propiedades “ser sistema térmico” y “estar en equilibrio con” propiedades disposicionales? Dicha respuesta tendría que especificar la manifestación que corresponde a determinado estímulo, si un objeto tiene la propiedad de ser sistema térmico. Una posibilidad sería establecer como manifestación “estar en equilibrio térmico con” y como estímulo el “poner en contacto térmico”. Así diríamos algo así como que los objetos que tienen la propiedad de “ser sistemas térmicos” estarán en equilibrio térmico –manifestación– al ponerse en contacto térmico con otro –estímulo–.

Sin embargo, esto está muy lejos de expresar lo que el enunciado (i) efectivamente expresa o referirse al hecho general al que (i) refiere. Además, es un hecho que si dos sistemas térmicos tienen la propiedad de “estar en equilibrio térmico entre sí” nada ocurre, es decir, todo permanece igual al ponerlos en contacto. Por lo tanto, la posible manifestación por tener dicha propiedad correspondiente al estímulo de ponerlos en contacto sería negativa o estaría ausente. Esto tal vez requeriría que la teoría de las propiedades disposicionales en general sea enmendada para dar cuenta de manifestaciones ausentes o negativas. Basta con decir que la teoría de Bird no da cuenta de esto y que la propiedad en cuestión no parece ser una disposicional. Por consiguiente, parece que la teoría de Bird no da cuenta de la ley cero.

Por último, apliquemos la teoría de Lange a la ley cero. Para esto hay que tener en mente lo que implica dicha ley: la existencia de un criterio del equilibrio térmico (la temperatura). De esta forma, si las temperaturas de dos sistemas son la misma, entonces ambos estarán en equilibrio térmico al ser puestos en contacto mutuo mediante paredes conductoras, y un observador se percatará de que ambos sistemas permanecen igual. En otras palabras, la ley cero implica que hay una propiedad (la temperatura) que nos permite anticipar cuándo dos sistemas estarán en equilibrio térmico sin importar su composición y tamaño. Por lo tanto, parece que sí es susceptible de ser formulada en términos de condicionales contrafácticos que muestren que su verdad se preserva, sin importar cuáles de los que se formulen sean consistentes con ella y las demás leyes de la termodinámica. Es decir, que sea formulada en términos de la teoría de leyes propuesta por Lange.

La formulación de la ley cero en términos de condicionales contrafácticos que no cambien el valor de verdad de dicha ley queda capturada por el siguiente enunciado: si la ley cero de la termodinámica fuese falsa, entonces la fabricación de termómetros sería imposible o bien la temperatura no nos permitiría anticipar cuándo dos sistemas se encuentran en equilibrio térmico. De esta manera la ley cero sigue siendo verdadera a pesar de suponer lo contrario, pues de otra manera no podríamos tener el criterio que de hecho tenemos para el equilibrio térmico.

¿En qué sentido es una ley la primera ley de la termodinámica?

Para mostrar la forma en que quedaría reformulada la primera ley en términos de las tres teorías filosóficas repetiremos la estrategia empleada para la ley cero. De esta manera, hay que exponer primero brevemente lo que esta ley enuncia. Posteriormente, hay que aplicar cada uno de los marcos dados por cada teoría filosófica de leyes, comenzando con la universalista y terminando con la contrafactualista.

Supóngase que tenemos un sistema cerrado⁴ y lo empleamos para hacer algo de trabajo o para permitir una liberación de energía como calor. Su *energía interna*⁵ decrece. Posteriormente dejamos el *sistema aislado*⁶ de sus alrededores por un determinado tiempo y después volvemos a él. Invariablemente encontraremos que su capacidad para hacer trabajo –su energía interna– no regresa al valor inicial (antes de haber hecho trabajo o liberar energía como calor). En otras palabras, la energía interna de un sistema aislado es constante (cf. Atkins 21).

Esta es la primera ley de la termodinámica en una de sus enunciaciones. Si pudiésemos lograr llevar a cabo movimiento de manera perpetua, es decir, trabajo efectuado sin consumir combustible, la primera ley sería falsa. Así formulada, generalmente, se piensa a esta ley como una extensión de la ley de la conservación de la energía. Por lo tanto, normalmente se dice que esta ley es una ley conservativa o un principio de conservación. Es una idea común entre científicos que las leyes de conservación parecen tener un origen muy profundo. Según el teorema de Noether, matemático alemán, a cada ley de conservación le corresponde una simetría (cf. Atkins 35). Es decir, es un hecho que hay una correlación entre principios o leyes de conservación y simetrías del espacio-tiempo.⁷

Ahora bien, esta ley puede reformularse mediante el siguiente enunciado: Todos los sistemas térmicos aislados tienen energía constante. De aquí podemos llegar al enunciado general verdadero que implicaría dicha ley, a saber: para todo x , si x es un sistema térmico aislado, entonces x tiene energía interna constante. Este enunciado puede simbolizarse de la siguiente manera: (ii) " $x(Ax \rightarrow Cx)$. Donde A equivale a "ser sistema térmico aislado" y C es igual a "tener energía interna constante". Recordemos nuevamente que para la teoría universalista de leyes dicho enunciado sería una consecuencia de que es una ley que todos los sistemas térmicos

-
- 4 Un sistema cerrado es aquel que no permite el intercambio de materia desde su interior con el exterior.
 - 5 La energía interna (U) de un sistema se define como la capacidad del sistema para realizar trabajo.
 - 6 Un sistema aislado es aquel que se encuentra encerrado en paredes adiabáticas. Este tipo de paredes no permiten la conducción de calor.
 - 7 Cabe mencionar que hay una discusión filosófica respecto a si tales leyes o principios son leyes genuinas. Si lo son, ¿en qué sentido lo son?, ¿realmente son explicadas por el teorema de Noether o simplemente este enuncia una correlación?, ¿cómo es que estas rigen o implican otras leyes más particulares? Sin embargo, esta discusión amerita por sí misma una exposición aparte y está fuera de los propósitos del presente trabajo. Solo mencionaré que parece que dentro de la teoría de leyes de Lange (2007, 2009) sí son leyes genuinas: metaleyas, leyes que rigen otras leyes, mientras que para la disposicionalista de Bird (2007) no, pues no es posible caracterizar tales leyes en términos de propiedades disposicionales.

aislados tienen energía constante. Ahora hay que determinar cuáles serían los universales involucrados en la primera ley. Uno sería aquel que incluya todas las instanciaciones de individuos que tienen la propiedad “ser sistema térmico aislado”. Llamemos a este A. El otro universal sería aquel que incluya todas las instanciaciones de la propiedad “tener una energía constante”. Denominemos a este C. Una vez establecido esto, solo falta añadir la relación de necesidad nómica entre ambos tal que lleguemos a la forma $N(A, C)$. Así, llegamos a que si $N(A, C)$ es una ley que todos los sistemas térmicos aislados tienen energía constante, entonces “ $\forall x(Ax \rightarrow Cx)$ –para todo x , si x es un sistema térmico aislado, entonces x tiene energía interna constante–.

Es pertinente recordar que Armstrong considera que la relación de necesidad entre dos universales es contingente por lo que, si seguimos su teoría, la relación entre sistemas térmicos aislados con el hecho de tener energía constante podría no darse en algún otro mundo posible. Sin embargo, no parece que los teóricos de la termodinámica consideren que esto sea una posibilidad genuina, pues es una propiedad, hasta cierto punto, esencial, de los sistemas térmicos aislados el tener la misma cantidad de energía interna todo el tiempo.

Por otra parte, parece que, en general, esta teoría filosófica de leyes presenta una dificultad seria para dar cuenta de los principios o leyes de conservación que va de la mano con el punto anterior. Según Lange (2006), este obstáculo consiste en que al caracterizar la relación de necesidad entre universales como una que tiene un carácter contingente podríamos imaginar a dichas leyes como falsas en otros mundos posibles de la misma manera en que podemos imaginar las demás leyes siendo falsas en otros mundos posibles. Es decir, si tomamos en serio esta teoría, parece que no podríamos distinguir entre leyes de primer orden y leyes de segundo orden o metaleyas como los principios de conservación, pues ambas resultarían teniendo el mismo tipo de necesidad. Esto, como se dijo en el párrafo anterior, es contrario a lo que los científicos piensan sobre las leyes o principios de conservación, pues parece que tienen un carácter necesario más fuerte que las demás leyes como la de Coulomb o las de la mecánica de Newton en la medida en que se dice que estas últimas son “regidas” por las primeras.

En consecuencia, aunque podríamos reconstruir la primera ley aplicando la teoría universalista, esta forma de reconstruirla no nos permitiría distinguirla de las leyes de primer orden como la ley de la carga, la de Coulomb, etc. Por lo tanto, la teoría universalista no da cuenta de la primera ley de la termodinámica en tanto se le piensa como una ley de conservación, es decir, una metaley o ley de segundo orden.

Intentemos ahora reformular esta misma ley aplicando la teoría que nos ofrece Bird. Recordemos que ya tenemos la regularidad que la primera

ley de la termodinámica implicaría. Esta es expresada por (ii). El siguiente paso sería ver una manera posible de caracterizar las propiedades “ser sistema térmico aislado” y “tener energía interna constante” en términos disposicionales. Para lograr esto hay que ver si tales propiedades vinculan una manifestación a un determinado estímulo. Sin embargo, no parece que la propiedad “ser sistema térmico aislado” se pueda formular de tal manera que, dado un determinado estímulo –como en el caso anterior era poner en contacto térmico dos sistemas–, nos conduzca a una manifestación como tener energía interna constante.

Por otro lado, recordemos de nueva cuenta que la primera ley de la termodinámica se le piensa como una ley de segundo orden o metaley. Este tipo de leyes, en general, considera el mismo Bird (2005a, 2007) de manera explícita, presentan una seria dificultad para su teoría. Una posible razón es que este tipo de leyes parecen mencionar límites o constreñimientos a ciertos comportamientos de las entidades en relación. Estos límites o constreñimientos no parecen ser formulables en lo absoluto en términos de manifestaciones de una disposición, dado cierto estímulo (*cf.* Bird 2007 213-214). En el caso de otra ley de conservación como lo es la ley de la conservación de la carga, dice Bird, es difícil ver cómo es que cuando dos cuerpos cargados eléctricamente se atraen o se repelen sea una manifestación de la esencia disposicional de que la carga total debería mantenerse constante (*cf.* 2005a 366, 2007 213). De la misma manera parece difícil ver cómo es que cuando un sistema térmico está aislado sea la manifestación de la esencia disposicional de que la energía interna total deba mantenerse constante. Por lo tanto, concluye Bird, hay algo misterioso en este tipo de leyes. Estas parecen requerir de una explicación. En el caso que nos atañe, la pregunta ¿cómo “sabe” un sistema aislado que su energía debe mantenerse constante? (*cf. ibd.*) carece aparentemente de explicación si apelamos a esta teoría de leyes y en general dado nuestro conocimiento científico actual, lo más que podemos hacer es aceptarla como un hecho bruto en el sentido de que actualmente carece de explicación sin asumir que así quedará por siempre ya que puede ser que en desarrollos científicos ulteriores encontremos la respuesta a la pregunta anterior. En consecuencia, la primera ley de la termodinámica no podría ser reformulada en términos de propiedades disposicionales. Es decir, la teoría de Bird no podría decirnos qué es o cuál es la naturaleza de la primera ley de la termodinámica.

En lo que respecta a la reformulación de esta ley en términos de la teoría de Lange, parece que, otra vez, basta con conocer lo que implicaría dicha ley si fuese falsa: la existencia de máquinas de movimiento perpetuo. De esta manera, formulamos el siguiente condicional contrafáctico: si la primera ley de la termodinámica fuese falsa, entonces habría máquinas de movimiento perpetuo. Esta consecuencia de la

negación de la primera ley de la termodinámica es ampliamente conocida y mencionada por los teóricos de la termodinámica. Esto muestra que la teoría de Lange sí se puede aplicar en la reformulación de la primera ley mostrándonos así por qué es de hecho una ley.

En general, esta última teoría no presenta dificultades para caracterizar como leyes a los principios o leyes de conservación. No se presentan obstáculos en la medida en que esta caracterización piensa las leyes como hechos subnómicos. Dentro del conjunto de los hechos subnómicos también encontramos a las verdades lógico-matemáticas y las metaleyas como los principios de conservación. La diferencia entre ellos estriba en su carácter modal. El carácter modal más fuerte lo tienen las verdades lógico-matemáticas de tal manera que el número de suposiciones contrafácticas que resisten es mayor que el que resisten las leyes de segundo orden y el de las de primer orden. Las metaleyas resisten un menor número que las anteriores, pero uno mayor que las de primer orden. Las leyes de primer orden resisten un menor número que los dos tipos de hechos subnómicos anteriores. Y, por último, todos los demás hechos subnómicos regidos por las leyes de primer orden. De esta manera la modalidad viene en niveles y encontramos una jerarquía en el carácter modal de las leyes de primer orden, las de segundo y las leyes lógico-matemáticas de tal manera que cada una de estas rige los hechos subnómicos de su nivel inmediato inferior (cf. Lange 2004, 2005, 2009).

¿En qué sentido es una ley la segunda ley de la termodinámica?

La segunda ley afirma que la entropía (s) total del universo aumenta de manera constante en el transcurso de cualquier proceso de cambio espontáneo. Esta formulación incorpora los dos enunciados lógicamente equivalentes hechos por Kelvin y Clausius (cf. Atkins 38-44). El primero afirmaba que es imposible un proceso cíclico en el que el calor sea tomado de la fuente caliente y se transforme en trabajo por completo. El segundo sostenía que la transferencia de calor entre dos objetos en contacto térmico va siempre del más caliente al más frío sin que se efectúe trabajo alguno, es decir, es un proceso espontáneo (cf. Atkins 47-51).

Clausius definió un cambio en la *entropía* de un sistema como el resultado de dividir la energía transferida como calor por la temperatura a la que ocurrió la transferencia:

$$\Delta S = \frac{Q}{T} \quad (1)$$

Donde ΔS es el cambio en entropía, Q el calor suministrado reversiblemente y T la temperatura.

Es importante que la transferencia de calor se imagine como siendo llevada a cabo de manera uniforme y gradual. En otras palabras, es importante que no haya ninguna región turbulenta de movimiento térmico. Si esto es así, se dice que el proceso mediante el que se suministra calor al sistema es *reversible*.

Mientras que la primera ley y el concepto de energía interna (U) identifican los cambios factibles de entre todos los cambios concebibles: solo son factibles aquellos en los que la energía total del universo permanece constante; la segunda ley y el concepto de entropía (S) permiten identificar los cambios espontáneos de entre los cambios factibles: solo son espontáneos aquellos procesos factibles en los que la entropía total del universo aumenta (cf. Atkins 51).

Ahora bien, si aceptamos que las teorías universalista y disposicionalista tienen dificultades serias al caracterizar las leyes de conservación como lo es la primera ley de la termodinámica, entonces una conclusión del análisis que se está llevando a cabo hasta ahora sería que ninguna de las dos da cuenta de las leyes de la termodinámica, pues basta con que una no sea caracterizable en los términos propuestos por una teoría, para que mostremos que esta teoría no es adecuada. Por lo tanto, solo faltaría ver si la propuesta de Lange da cuenta de la segunda y la tercera ley. Si lo hace, entonces podríamos concluir que esta teoría es la única que nos dice por qué tales leyes de hecho son tales.

Para reformular la segunda ley en términos de la caracterización de la relación que guardan con condicionales contrafácticos basta con conocer las implicaciones que trae consigo la suposición de que dicha ley fuese falsa. Estas son dos: 1) un motor sin disipador de calor no podría efectuar trabajo alguno, y 2) la transferencia de calor entre dos objetos en contacto térmico iría del frío al caliente sin efectuarse un trabajo. Así, tendríamos dos posibles reformulaciones: A) Si la entropía del universo no aumentase de manera constante, entonces un motor sin disipador no podría efectuar trabajo, y B) Si la segunda ley de la termodinámica fuese falsa, entonces la transferencia de calor entre dos objetos iría del caliente al frío sin que se efectúe trabajo. Por lo tanto, parece que la teoría de Lange sí da cuenta de la segunda ley de la termodinámica.

¿En qué sentido es una ley la tercera ley de la termodinámica?

La tercera ley fue enunciada por el físico y químico alemán Walther Hermann Nernst Görbitz en 1907 (cf. Callen 277-279). Esta es la razón por la cual a esta ley también se le conoce como el postulado de Nernst. Cabe señalar que mientras que la ley cero introduce la propiedad de equilibrio térmico de un sistema térmico, la primera, la propiedad de energía interna

(u), y la segunda, la propiedad de entropía (s), la tercera ley no introduce ninguna propiedad para los sistemas termodinámicos.⁸

En su versión clásica esta ley está expresada por el siguiente enunciado: no hay una secuencia finita de procesos cíclicos que pueda lograr exitosamente enfriar (empleando técnicas térmicas convencionales) un cuerpo hasta el cero absoluto.

Esta afirmación es consecuencia de los intentos experimentales fallidos por extraer una determinada cantidad de calor de un objeto conforme su temperatura decrece cada vez más acercándose al cero mediante las técnicas térmicas convencionales. Estas son las empleadas en la construcción de refrigeradores. Los intentos no parecen fracasar solo por el hecho de que para reducir la temperatura cada vez más se requiera efectuar una cantidad de trabajo cada vez más grande y en consecuencia una cantidad de energía cada vez mayor, sino porque parece haber un límite en la temperatura que un sistema puede alcanzar yendo en decremento.

En su versión en términos de entropía (s) esta ley determina su comportamiento cuando la temperatura de un sistema térmico se aproxima a cero estableciendo que ΔS (la diferencia de entropía) desaparece cuando esto sucede. En otras palabras, esta ley establece un límite para la cantidad de entropía de un sistema cuando su temperatura se acerca al cero absoluto. El enunciado que la expresa es el siguiente: la entropía de todos los sistemas se acerca a cero conforme su temperatura se aproxima a cero (*cf.* Kondepudi 123).

Si bien las implicaciones de la tercera ley solo se hacen patentes en los laboratorios. La primera de sus consecuencias es que elimina la idealización más preciada de la ciencia: la del gas ideal. La tercera ley descarta su existencia a $T=0$. Aunque esto no se va a mostrar aquí basta decir que este hecho proviene de que la entropía de un sistema desaparece cuando este alcance el cero absoluto. La segunda de sus consecuencias es que nos brinda la clave para aplicar las capacidades de calor medidas a lo largo de un rango de temperaturas para calcular la composición de equilibrio de las reacciones químicas y así determinar si es posible que una reacción se lleve a cabo o no y optimizar las condiciones para su implementación en la industria. No se podría hacer esto si las entropías de las sustancias fueran distintas cuando las temperaturas de los sistemas térmicos se aproximan el cero absoluto.

Ahora bien, para reformular la tercera ley en términos de la teoría de Lange bastará con recordar sus implicaciones. La primera es que descarta la existencia de los gases ideales a $T=0$. La segunda es que

8 Por esta razón algunos consideran que esta ley no está en la misma liga que las tres primeras (*cf.* Atkins 81) y otros más sostienen que no es una ley en lo absoluto.

posibilita aplicar las capacidades de calor medidas experimentalmente y así determinar si una reacción química se podría efectuar o no antes de intentar llevarla a cabo. Así, tendríamos los siguientes condicionales: C) Si la entropía fuese distinta de cero cuando la temperatura del sistema se acerca al cero absoluto, entonces los gases ideales existirían cuando $T=0$. D) Si la tercera ley de la termodinámica fuese falsa, entonces no podríamos determinar si una reacción se podría llevar a cabo antes de intentar hacerlo.

¿Podemos ser realistas en torno a las leyes de la termodinámica?

Después de este breve ejercicio de reconstrucción de las tres primeras leyes de la termodinámica en términos de tres leyes filosóficas podemos establecer las siguientes conclusiones.

La ley cero presenta dificultades en su reconstrucción en términos de la teoría universalista en la medida en que parece estar formulada en términos de una propiedad relacional de los sistemas térmicos. Sin embargo, parece ser reformulable en principio. En cuanto a su reconstrucción en términos de la teoría disposicionalista, esta no es posible dado que la propiedad “estar en equilibrio térmico” no parece ser una fundamental que pueda formularse en términos disposicionales.

La primera ley ofrece dificultades tanto para la teoría universalista como para la disposicionalista. Si bien es cierto que parece ser susceptible de una reconstrucción en términos de una relación entre universales, Lange nos muestra que su necesidad se identificaría con la de las leyes de primer orden. Esto no es deseable, dado que los científicos tienen razones para creer que esta ley es una de conservación y que este tipo de leyes tienen un carácter modal más fuerte que las de primer orden, como las de la carga, las de Newton, etc. En lo que se refiere a su reconstrucción en términos de una relación necesaria entre propiedades disposicionales, vimos que la propiedad de “tener energía interna constante” no parece ser una que asocie una determinada manifestación con un determinado estímulo. Es decir, no se puede reformular en términos disposicionales. Aunado a esto, su autor acepta explícitamente que esta y otras leyes o principios de conservación no son susceptibles de una reformulación en los términos dados por su teoría.

Hasta aquí dos teorías filosóficas han mostrado su incapacidad de lidiar con las dos primeras leyes de la termodinámica en la medida en que no logran reconstruirlas satisfactoriamente. Por consiguiente, y asumiendo que una teoría filosófica de leyes tiene que ser capaz de reconstruir satisfactoriamente cada una de las leyes de la termodinámica, podemos concluir que ambas fracasan en la medida en que no dan cuenta de todas las leyes de la termodinámica, es decir, no son resultan adecuadas para decirnos por qué tales leyes de hecho son leyes.

Esto no sucedió con las reformulaciones a partir de la teoría de Lange. Una vez que se muestra cómo se pueden reconstruir en términos de la teoría de Lange, se procedió a reformular la segunda y la tercera ley de la termodinámica en los términos dados por esta teoría filosófica. La reformulación fue exitosa, es decir, se llevó a cabo sin que se presentasen dificultades. Así llegamos a la afirmación de que la caracterización de Lange parece decirnos por qué las leyes de la termodinámica, de hecho, son leyes. La razón estriba en la relación que guardan con los contrafácticos. Tal relación es una que al hacer un gran número de suposiciones de circunstancias contrafácticas, estas permanecen siendo verdaderas. Esta relación refleja su carácter necesario. Mientras las leyes son verdades necesarias, las regularidades o accidentes no. Estas últimas carecen de la propiedad de seguir siendo verdaderas sin importar qué circunstancias contrafácticas se supongan.

Finalmente, cabe recordar que las tres teorías expuestas a lo largo del trabajo pueden ser clasificadas como realistas en la medida en que las tres trazan una distinción entre leyes y regularidades o accidentes. La distinción estriba en el carácter necesario de las leyes naturales. Esto las distingue de la posición contraria, el antirrealismo, que afirma que no hay distinción entre unas y otras. Reduciendo así las leyes a meras regularidades. Si esta caracterización mínima de la posición realista en torno a leyes es correcta, entonces sí podemos ser realistas en torno a las leyes de la termodinámica al reconstruir las leyes en los términos propuestos por la teoría de Lange.

Bibliografía

- Armstrong, D. *What is a Law of Nature*. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.
- Atkins, P. *The Laws of Thermodynamics: A Very Short Introduction*. Clarendon: Oxford University Press, 2010.
- Bird, A. "The Dispositionalist Conception of Laws." *Foundations of Science* 10.4 (2005a): 353-370.
- Bird, A. "Laws and Essences." *Ratio* 18.4 (2005b): 437-461.
- Bird, A. *Laws and Properties*. Clarendon: Oxford University Press, 2007.
- Callen, H. B. *Thermodynamics and an Introduction to Thermostatistic*. Toronto: John Wiley & Sons, 1985.
- Dretske, F. "Laws of Nature." *Philosophy of Science* 44.2 (1977): 248-268.
- Hume, D. "Of the Idea of Necessary Connexion." *An Inquiry Concerning Human Understanding*. Ed. Lewis A. Selby-Bigge. Oxford: Oxford University, 1902.
- Kondepudi, D. *Introduction to Modern Thermodynamics*. New York: Wiley, 2008.
- Kestin, J. *A Course in Statistical Thermodynamics*. New York: Academic Press, 1971.

- Ellis, B., and Lierse, C. "Dispositional Essentialism." *Australasian Journal of Philosophy* 72.1 (1994): 27-45.
- Lange, M. "The Relation of Laws to Counterfactuals." *Natural Laws in Scientific Practice*. New York: Oxford University Press, 2000. 42-94.
- Lange, M. "A Note on Scientific Essentialism, Laws of Nature, and Counterfactual Conditionals." *Australasian Journal of Philosophy* 82.2 (2004): 227-241.
- Lange, M. "Laws and their Stability." *Synthese* 144.3 (2005): 415-432.
- Lange, M. "Laws and Meta-Laws of Nature, Conservation Laws and Simmetries." *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 38.3 (2006): 457-481.
- Lange, M. *Laws and Lawmakers*. New York: Oxford University Press, 2009.
- Lewis, D. "Finkish Dispositions." *Philosophical Quarterly* 47.187 (1997): 143-158.
- Tooley, M. "The Nature of Laws." *Canadian Journal of Philosophy* 7.4 (1977): 667-698.
- Shoemaker, S. "Causality and Properties." *Time and Cause*. Ed. Peter van Inwagen. Dordrecht: Reidel, 1980. 109-135.