

La apropiación del discurso científico de estudiantes de física en el contexto de la termodinámica

The appropriation of the scientific discourse of physics students in the thermodynamics context

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Mara Verónica Dávila^{1,2}, Myriam Edith Villegas^{1,2} y Laura María Buteler^{3,4}

¹Departamento de Física, Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales, Universidad Nacional de San Luis, Ejército de los Andes 950, D5700BWS San Luis. Argentina.

²Instituto de Física Aplicada, CONICET-UNSL, Ejército de los Andes 950, D5700BWS San Luis. Argentina.

³Instituto de Física Enrique Gaviola. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

⁴Facultad de Matemática, Astronomía y Física, Universidad Nacional de Córdoba, Medina Allende y Haya de la Torre. Ciudad Universitaria, CP 5000, Córdoba. Argentina.

E-mail: maradav@unsl.edu.ar

Resumen

En esta comunicación se presenta un plan de trabajo, que tiene como objetivo último entender cómo el aprendizaje de una disciplina contribuye a la construcción de la identidad del estudiante, y a la inversa cómo esta construcción facilita la apropiación de los conceptos. El estudio se está llevando a cabo en relación con la enseñanza de la termodinámica clásica a estudiantes universitarios. Más específicamente está enfocado al aprendizaje del concepto de entropía, el cual representa un desafío, dado que la palabra "entropía" no es parte de su lenguaje cotidiano y generalmente es escuchada por primera vez en la educación formal. Se pretende, partiendo de una definición operativa sobre la apropiación de un concepto, develar los detalles críticos que permiten (u obstaculizan) la apropiación del discurso científico de los estudiantes alrededor del concepto de entropía.

Palabras clave: Enseñanza de la termodinámica; Apropiación; Entropía; Construcción de la identidad; Aprendizaje.

Abstract

In this communication a work plan is presented, whose ultimate goal is to understand how the learning of a discipline contributes to the construction of the student's identity, and conversely how this construction facilitates the appropriation of the concepts. The study is being carried out in relation to the teaching of classical thermodynamics to university students. More specifically, it is focused on learning the concept of entropy, which represents a challenge. This is due to the word "entropy" is not part of their everyday language and is generally heard for the first time in formal education. It is intended, based on an operational definition on the concept appropriation, to reveal the critical details that allow (or hinder) the appropriation of students' scientific discourse around the concept of entropy.

Keywords: Teaching of thermodynamics; Appropriation; Entropy; Construction of identity; Learning.

I. INTRODUCCIÓN

Los estudios sobre construcción de identidad han ido progresivamente recibiendo mayor atención en el ámbito de la educación científica, porque funcionan como nuevos lentes que permiten "ampliar" la mirada sobre el aprendizaje focalizado en lo puramente disciplinar. Numerosas investigaciones han estudiado la influencia que factores de orden emocional, afectivo, cultural y social tienen en el aprendizaje (Lee, 2012; McConnell y otros, 2016; Maiese, 2017; González y otros, 2017; Uzun y Yildirim, 2018). Dentro de este abordaje general, existe abundante bibliografía que se ha enfocado en cómo las narrativas de los

sujetos sobre sí mismos (es decir, sus identidades) afectan el aprendizaje de la ciencia (Haste, 2004; Fouad y otros, 2005; Aikenhead, 2006; Thomson y De Bortoli, 2008). En cambio, mucho menos se ha incurrido en la dirección contraria, es decir, entender cómo el aprendizaje de una disciplina contribuye a la construcción de la identidad del estudiante (Lave y Wenger, 1991; Fantini y otros, 2013; Levrini y otros, 2015).

Esta última opción representa un desafío ávido de respuestas. En la educación secundaria es poco usual que los estudiantes encuentren, dentro de las normas disciplinares de la física, lugar para sus preferencias, para su estilo de pensamiento, para sus intuiciones, para su creatividad, es decir, oportunidades para construir su identidad. También es difícil que ello ocurra en los primeros años de la educación universitaria. Aunque en el nivel universitario los estudiantes llegan con un interés genuino para estudiar, por ejemplo, una carrera científico-tecnológica, el encuentro con la física muy pocas veces redundo en un aprendizaje productivo que contribuya a la construcción de la identidad del estudiante. En muchos casos, este encuentro suele pasar bastante desapercibido, evidenciado en magros resultados de aprendizaje (Pfundt y Duit, 2009). En otros casos, este encuentro puede ser una experiencia traumática, un camino plagado de incomprensiones y fracasos sucesivos.

En este mismo sentido, es decir, el de la ciencia como “lugar” para la construcción de la identidad, Levrini y colaboradores (2015) proponen el término apropiación para referirse a un tipo de aprendizaje productivo en la disciplina, que involucra

...un proceso reflexivo de transformación del discurso científico (palabras científicas y oraciones) de manera que en él se involucren las identidades personales, y a su vez se respeten las normas y restricciones de la disciplina. El proceso de transformación involucra poblar el discurso científico con las propias intenciones, gustos idiosincráticos y propósitos, a fin de hacerlo sensible no sólo a uno mismo sino también a la manera de participación en el contexto social de la clase.

En la misma investigación, Levrini y colaboradores avanzan sobre esta definición de apropiación y logran, a través de un proceso iterativo desde los datos, construir una definición operativa de apropiación que les permitió vislumbrar en qué medida los estudiantes de física de un curso de enseñanza secundaria, habían logrado apropiarse de la disciplina (física). Esa definición operativa de apropiación será tomada como punto de partida para orientar, a modo de lente teórico inicial, este plan de trabajo. Los marcadores que estos investigadores desarrollaron para determinar si un estudiante se había apropiado del discurso requerían que este último debía ser:

1. Desarrollado a partir de un conjunto de palabras o expresiones que se repetían en varias oportunidades y que expresaban una idea idiosincrática, auténtica y personal con respecto al contenido de física que estaban trabajando. La idea era reconocible como auténtica e idiosincrática porque era diferente de las de otros estudiantes y la elección lingüística tanto como el tono que utilizaba no era “prestado” de la autoridad (del profesor, del texto, de otro compañero autorizado);
2. Fundamentado desde la disciplina, es decir la idea idiosincrática era usada por el estudiante como una herramienta para seleccionar piezas del conocimiento normativo y para coordinarlas respetando las reglas y principios de la física;
3. Profundo, es decir, la idea idiosincrática debía involucrar la dimensión cognitiva (qué significa para mí el aprendizaje de la física) y epistemológica (cual imagen de la física tiene sentido para mí);
4. No incidental, es decir que la idea idiosincrática pueda ser rastreada hacia atrás en distintas situaciones y actividades de clase y por lo tanto reconocible dentro de la historia personal del estudiante;
5. Portador de relaciones sociales, es decir que la idea idiosincrática posicione al estudiante dentro de una comunidad de clase y viceversa, que la dinámica de la clase sea inseparable de la idea idiosincrática.

El objetivo general de este plan pretende avanzar en la comprensión de los caminos de apropiación de estudiantes universitarios en el ámbito de la termodinámica y dentro de éste, sobre el concepto de entropía. Se pretende, partiendo de la definición operativa de Levrini y colaboradores, develar los detalles críticos que permiten (u obstaculizan) la apropiación del discurso científico de los estudiantes alrededor del concepto de entropía.

¿Por qué la termodinámica/entropía? La termodinámica es un área de la física en permanente desarrollo. Las investigaciones en auge comprenden la termodinámica fuera del equilibrio (Alicki y Gelbwaser-Klimovsky, 2015; Endres, 2017; Smith y otros, 2017), termodinámica estadística de sistemas nanoscópicos (Pinto y otros, 2013; Arias-González, 2017), termodinámica relativista (Farías y otros, 2017), termodinámica cuántica (Hänggi y Wehner, 2013; Guryanova y otros 2016; Alipour y otros, 2016; Bera y otros, 2017), etc. También es un área que ha generado profundos lazos con otras disciplinas, como la teoría de la información, computación, economía, bioquímica, etc. Introducirse en estos campos requiere de una comprensión profunda de cada uno de los conceptos termodinámicos. Esto no es un desafío me-

nor ya que tanto las personas en su vida cotidiana como los científicos usan regularmente conceptos como temperatura, presión y energía sin conocer su significado riguroso y sus sutilezas (Rubi, 2008).

Desde el punto de vista educativo, numerosas investigaciones en educación en la física han reportado dificultades que los estudiantes experimentan a la hora de trabajar con conceptos de termodinámica. Las más destacadas se relacionan con el calor, la temperatura, el trabajo, la primera y segunda ley de la termodinámica y la ley de gas ideal (Loverude y otros, 2002; Meltzer, 2004; Poggi y otros, 2016). Esto ha dado lugar a una línea de investigación sobre aprendizaje y enseñanza de la termodinámica dentro de la investigación en educación en ciencias.

En particular la entropía es un concepto central dentro de la termodinámica, cuyo aprendizaje representa un gran desafío para los estudiantes. La palabra “entropía” no es parte de su lenguaje cotidiano y generalmente es escuchada por primera vez en la educación formal (Haglund y otros, 2016). A esto se suma que, durante la enseñanza, los estudiantes utilizan ideas alternativas que dificultan su conceptualización (Jeppsson y otros, 2013; Haglund, 2017). Entre las más destacadas se encuentra que los estudiantes piensan que la entropía es una cantidad que siempre aumenta (Ribeiro, 1992; Christensen y otros, 2009), que no tiene propiedades de función de estado o que aumenta junto con el aumento de la temperatura (Christensen y otros, 2009). Estas ideas muchas veces persisten luego de la instrucción, evidenciando la dificultad que los estudiantes experimentan al intentar apropiarse de este concepto.

Una condición necesaria para abordar el fenómeno de apropiación es ofrecer a los estudiantes múltiples perspectivas de abordar un contenido, a fin de que en esa multiplicidad ellos encuentren “lugar” para construir sus identidades. La termodinámica es posible de ser abordada desde dos perspectivas bien diferenciadas: un abordaje macroscópico y fenomenológico, y un abordaje microscópico (Tarsitiani y Vicentini, 1996; Malgieri y otros, 2016). Estos dos abordajes tienen sus orígenes en los trabajos casi simultáneos de Maxwell (la *Teoría del calor* de Maxwell, 1904) y de Planck (*Tratado sobre termodinámica de Planck*, 1897). El primero se sustenta en una visión continua de la materia, mientras que el segundo en una visión discreta de la misma, es decir una materia constituida por partículas elementales. Estos dos abordajes, que sustentan distintas formas de mirar el mismo fenómeno físico, no son trabajados en forma simultánea en la enseñanza universitaria. El abordaje fenomenológico de la termodinámica se enseña en los cursos básicos y el abordaje microscópico generalmente en cursos superiores. De manera que los estudiantes tienen pocas (o nulas) oportunidades de relacionarlos y reflexionar sobre sus diferencias y similitudes.

En síntesis, la relevancia actual que representa la termodinámica (y la entropía) dentro de la física, las dificultades que experimentan los estudiantes durante el aprendizaje de la termodinámica (y la entropía), y la multiplicidad de abordajes que ésta brinda para comprender los mismos fenómenos (macroscópico y microscópico), sustentan la elección del aprendizaje de la termodinámica y la entropía como objeto de estudio en este plan.

Concretamente, desde la perspectiva del aprendizaje como apropiación, la pregunta que guía este trabajo es: ¿Qué rol juegan los abordajes macroscópico y microscópico de la termodinámica y de la entropía en el proceso de apropiación de estudiantes universitarios de física?

II. METODOLOGÍA: SUJETOS Y MATERIALES

El trabajo de indagación se llevará a cabo en tres etapas.

Durante la etapa I se elaborarán las situaciones sobre las que trabajarán los estudiantes. Esta etapa es crucial para “capturar” el fenómeno que se pretende estudiar. Como hemos explicitado anteriormente, una condición necesaria en este diseño es abordar un dado contenido desde múltiples perspectivas, a fin de que en esa multiplicidad los estudiantes encuentren “lugar” para sus gustos, preferencias o su sello personal. Es importante notar que el tránsito de los estudiantes por distintos abordajes de un mismo contenido, no garantiza un proceso exitoso de apropiación, no es condición suficiente para ese éxito, simplemente lo posibilita. La ventaja de las perspectivas múltiples, es que los estudiantes no sólo aprenden contenidos de física sino también aprenden *sobre* la física.

Concretamente, en esta primera etapa se diseñarán actividades alrededor del concepto de entropía, concepto fundamental dentro de la termodinámica, desde dos abordajes distintos: el abordaje *fenomenológico* y el abordaje *microscópico* de la termodinámica. Las situaciones se diseñarán de modo de contraponer los dos abordajes, generar conflictos y provocar discusiones argumentativas. Para el trabajo con la visión microscópica, nos apoyaremos en simulaciones computacionales que aborden este concepto. Específicamente se trabajará con simulaciones que permitan relacionar entidades como microestado, macroestado, multiplicidad, fluctuaciones e irreversibilidad. Entre los ejemplos más destacados se puede mencionar Molecular Workbench desarrollado por Concord Consortium, Physics Education Technology Project, PHET, desarrollado por el grupo Physics Education Research de la Universidad de Colorado,

Processi Termicidad Entropía desarrollado por el grupo GRIAF, Statistical Interpretation of Entropy Package, SIE, alojado en Open Source Physics y desarrollado por Todd Timberlake, entre otros. En términos macroscópicos, el trabajo estará apoyado en bibliografía pertinente como Callen (1981) y Zemansky y Dittman (1979), entre otros.

En la actualidad se está trabajando en esta etapa, en el proceso de indagación de posibles simulaciones capaces de actuar como “puentes” entre las visiones macroscópica y microscópica para abordar una situación problemática en torno a la entropía. Esta situación está siendo desarrollada de modo de contemplar (algunos de) los obstáculos típicos que los estudiantes experimentan al intentar aprender entropía, a saber: la entropía es una medida del desorden del sistema, la entropía siempre crece, el crecimiento de la entropía es proporcional al aumento de la temperatura, entre otras.

Durante la etapa II se llevarán a cabo un conjunto de entrevistas a lo largo de un cuatrimestre a grupos de estudiantes que hayan recibido instrucción sobre termodinámica (desde ambos abordajes) y convocados voluntariamente para participar de la investigación. Se prevé la participación de varios grupos (entre 4 y 6) conformados por tres estudiantes cada uno. Los estudiantes provendrán de las carreras de Licenciatura y Profesorado de Física de las Universidades Nacionales de Córdoba (Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación) y de San Luis¹ (Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales). Se prevén uno o más encuentros/entrevistas con cada grupo dependiendo del grado de avance de los estudiantes con las tareas diseñadas. Aunque estos participantes hayan recibido instrucción en termodinámica, sabemos que el aprendizaje no se agota en esas instancias. Además, propondremos actividades que, estando al alcance de los estudiantes, sean suficientemente desafiantes como para involucrarlos en la tarea.

Las entrevistas que se llevarán a cabo reúnen ciertas características. Se trata de entrevistas grupales, entornos que permiten y favorecen la interacción entre pares. Esto hace que en general, se genere un clima de indagación entre los estudiantes que se muestran dispuestos a compartir sus ideas, manifestar sus disensos, proponer caminos alternativos, etc. En segundo lugar, las entrevistas se plantean alrededor de una situación física, sobre la cual los estudiantes tienen que opinar o predecir si algún fenómeno sucederá, o si una determinada variable aumentará o disminuirá. Las consignas en los problemas evitan, ex-profeso, enfocarse mucho en cálculos, si bien estos son aceptados cuando los estudiantes proponen hacerlos. En tercer lugar, los estudiantes son instados a acordar en sus respuestas. Es decir, se les indica explícitamente que el convencerse mutuamente es importante y durante la entrevista se refuerza la idea de que lo que importa es que estén todos convencidos de la respuesta que dan, aceptando naturalmente que uno, o todos los entrevistados pueden cambiar de opinión. Por último, el rol del entrevistador en las entrevistas es crucial. Aunque el entrevistador prepara con anticipación la/las tareas o preguntas en función de su agenda de investigación, mucho de lo que sucede en la entrevista no puede ser anticipado. El protocolo es una guía de ruta con muchos desvíos no señalizados porque mucho de lo que sucede durante una entrevista es improvisado por el entrevistador. Esa improvisación surge porque el conocimiento de los sujetos es suficientemente rico y complejo como para que un protocolo lo pueda abarcar. Los entrevistados difieren en las formas de responder al protocolo preestablecido, y esas diferencias obligan al entrevistador a improvisar en el momento, para poder sintonizar los registros producidos con el propósito de la investigación. Las intervenciones del entrevistador en esas ocasiones deben ser sutiles como para no oscurecer los razonamientos de los entrevistados, pero incisivas para lograr que el devenir de la entrevista se oriente hacia su objetivo de indagación.

Hipotetizamos que, a partir de las situaciones problemáticas diseñadas en torno a las dificultades habituales que experimentan los estudiantes sobre la entropía, se generará debate durante las entrevistas, y este debate promoverá discusiones argumentativas que serán sustentadas con el recurso tecnológico de la simulación. Las entrevistas serán registradas en formato audio-visual. Esos registros serán analizados en forma grupal siguiendo la metodología del Análisis de la Interacción (Jordan, 1992; Lave y Wenger, 1991; Jordany Henderson, 1995). Esta metodología se pone en práctica grupalmente, entre los investigadores involucrados, y a través de reuniones periódicas. En estas, uno de los investigadores es el encargado de iniciar/detener la reproducción del video. Esta reproducción se detiene cuando alguno de sus pares encuentra algo que considera relevante. Los distintos investigadores plantean observaciones e hipótesis sobre lo que ocurre en el registro, que se han de respaldar o descartar con evidencias fundadas *en el mismo registro o en registros relacionados con éste* (mismos estudiantes en situaciones previas, por ejemplo). Esto permite atenerse a la consigna de *fundar las afirmaciones* sobre lo que ocurre en las grabaciones *en las evidencias materiales de los registros*. En algunos casos, los equipos de análisis llegan incluso a convenir en que las grabaciones no se detengan más de 5 minutos, para evitar la posibilidad de especulaciones que se hagan de manera desvinculada de la evidencia empírica. Luego del análisis grupal, un investigador particular trabaja con un recorte de los registros originales, para los cuales además cuenta ya

¹La población sobre la que se realiza el estudio es accidental y no pretende ser representativa del universo de estudiantes de las carreras mencionadas. Aunque los resultados se circunscribirán a los casos estudiados, entendemos que constituyen un aporte valioso para la construcción de hipótesis en investigaciones futuras.

con un registro paralelo de la interpretación colectiva del grupo de investigación. En esta etapa de trabajo individual, el investigador hace un análisis global de las diferentes observaciones hechas inicialmente por el grupo. Como resultado, algunas de las observaciones iniciales son descartadas, otras son modificadas en su interpretación, o confirmadas en relación con la hipótesis inicial. Esta etapa de análisis individual también permite buscar y comparar diferentes instancias del mismo fenómeno repetidas en distintos momentos de los registros.

En la etapa III se prevé llevar adelante un trabajo de campo en un aula universitaria de física, introduciendo las actividades diseñadas. Esta intervención se llevará a cabo en el curso de Termodinámica de la Licenciatura y Profesorado de Física de la Universidad Nacional de San Luis., cátedra donde la investigadora de esta presentación lleva a cabo su actividad docente. En esta instancia se prevé recolectar información desde distintas fuentes: notas de campo de observadores externos, registros audiovisuales, producciones de los estudiantes y entrevistas personales a algunos de los estudiantes involucrados. Los registros audiovisuales serán analizados de la misma forma que los producidos en la etapa II. Hipotetizamos que el escenario propuesto sostendrá instancias de apropiación por parte de los estudiantes.

III. PERSPECTIVAS

El desarrollo de este plan de trabajo está recién en sus comienzos, por lo que no es posible reportar resultados. Sin embargo, es posible anticipar algunos desafíos. Por ejemplo, en relación con la herramienta teórica propuesta, si bien se ha presentado una definición operativa para la apropiación del discurso alrededor de la entropía por parte de los estudiantes, es muy posible que los análisis de los registros audiovisuales de la etapa II, y de los registros obtenidos de la etapa III, sugieran una revisión de esa conceptualización inicial, de modo de capturar los fenómenos observados. Por otra parte, si bien se ha hipotetizado que las situaciones problemáticas a utilizar promoverán discusiones, y que las simulaciones propuestas sostendrán las argumentaciones de los estudiantes, es posible que esas actividades (problemas y simulaciones) requieran cambios a fin de lograr el resultado deseado. También es posible que se requieran ciertas configuraciones de la comunicación en las aulas (etapa III) a fin de que se logren los resultados esperados.

IV. IMPACTO

El desarrollo de este plan de trabajo tiene impacto no sólo en los estudiantes sino también en los docentes involucrados. Creemos que el impacto se concretará en una nueva mirada sobre el significado de aprender física. Aunque estos resultados previstos no pretenden “prescribir” la enseñanza, constituyen información vital para abordarla práctica y teóricamente. Estas implicaciones proveerán mejoras concretas en las aulas en las que se va a trabajar y también cambios importantes en la visión de enseñanza y de aprendizaje de los investigadores involucrados.

REFERENCIAS

- Aikenhead, G. (2006). *Science Education for everyday life: Evidence based practice*. NY: Teacher College Press.
- Alicki, R., y Gelbwaser-Klimovsky, D. (2015). Non-equilibrium quantum heat machines. *New Journal of Physics*, 17(11), 115012.
- Alipour, S., Benatti, F., Bakhshinezhad, F., Afsary, M., Marcantoni, S., y Rezakhani, A. T. (2016). Correlations in quantum thermodynamics: Heat, work, and entropy production. *Scientific reports*, 6, 35568.
- Arias-Gonzalez, J. R. (2017). Thermodynamic framework for information in nanoscale systems with memory. *The Journal of chemical physics*, 147(20), 205101.
- Bera, M. N., Riera, A., Lewenstein, M., y Winter, A. (2017). Generalized laws of thermodynamics in the presence of correlations. *Nature communications*, 8(1), 2180.
- Callen, H. B. (1981). *Termodinámica: Introducción a las teorías físicas de la termostática del equilibrio y de la termodinámica irreversible*. Ed. AC.

Christensen, W. M., Meltzer, D. E., y Ogilvie, C. (2009). Student ideas regarding entropy and the second law of thermodynamics in an introductory physics course. *American Journal of Physics*, 77(10), 907.

Endres, R. G. (2017). Entropy production selects non equilibrium states in multistable systems. *Scientific Reports*, 7(1), 14437.

Fantini, P., Levin, M. Levrini, O. y Tasquier, G. (2013). Pulling the rope and letting it go: Analyzing classroom dynamics that foster appropriation. Disponible en <https://www.esera.org/conference-proceedings/20-esera-2013>. Recuperado el 7 de marzo de 2018.

Farías, C., Pinto, V. A., y Moya, P. S. (2017). What is the temperature of a moving body? *Scientific reports*, 7(1), 17657.

Fouad, N., Byars, A. y Angela, M. (2005). Cultural context of career choice: Meta-analysis of race/ethnicity differences. *Career Development Quarterly*, 53(3), 223-233.

González, A., Fernández, M. V. C., y Paoloni, P. V. (2017). Hope and anxiety in physics class: Exploring their motivational antecedents and influence on metacognition and performance. *Journal of Research in Science Teaching*, 54(5), 558-585.

Guryanova, Y., Popescu, S., Short, A. J., Silva, R., y Skrzypczyk, P. (2016). Thermodynamics of quantum systems with multiple conserved quantities. *Nature communications*, 7, doi: [10.1038/ncomms12049].

Haglund, J., Andersson, S., y Elmgren, M. (2016). Language aspects of engineering students' view of entropy. *Chemistry Education Research and Practice*, 17(3), 489-508.

Haglund, J. (2017). Good use of a 'bad' metaphor. *Science & Education*, 26(3-4), 205-214.

Haste, H. (2004). Science in my future: A study of the values and beliefs in relation to science and technology amongst 11-21-year-old. London: Nestlé Social Research Program.

Hänggi, E., y Wehner, S. (2013). A violation of the uncertainty principle implies a violation of the second law of thermodynamics. *Nature communications*, 4, 1670.

Jeppsson, F., Haglund, J., Amin, T. G., y Strömdahl, H. (2013). Exploring the use of conceptual metaphors in solving problems on entropy. *Journal of the Learning Sciences*, 22(1), 70-120.

Jordan, B. (1992). New research methods for looking at productivity in knowledge-intensive organizations. In H. V. D. Parunak (Ed.), *Productivity in knowledge-intensive organizations: Integrating the physical, social, and informational environments* (pp. 194-216). Ann Arbor, MI: Industrial Technology Institute.

Jordan, B., y Henderson, A. (1995). Interaction analysis: Foundations and practice. *The journal of the learning sciences*, 4(1), 39-103.

Lave, J., y Wenger, E. (1991). *Situated learning: Legitimate peripheral participation*. Cambridge, England: Cambridge University Press.

Lee, Y. (2012). Identity-Based Research in science Education. En Fraser, B., Tobin, K. y McRobbie, C. (Eds.), *Second International Handbook of Science Education*, 35- 45. NY: Springer.

Levrini, O., Fantini, P., Tasquier, G., Pecori, B. y Levin, M. (2015). Defining and Operationalizing Appropriation for Science Learning. *Journal of the Learning Sciences*, 24(1), 93-136.

Loverude, M. E., Kautz, C. H., y Heron, P. R. (2002). Student understanding of the first law of thermodynamics: Relating work to the adiabatic compression of an ideal gas. *American journal of physics*, 70(2), 137-148.

- Maiese, M. (2017). Transformative Learning, Enactivism, and Affectivity. *Studies in Philosophy and Education*, 36(2), 197-216.
- Malgieri, M., Onorato, P., Valentini, A., y De Ambrosis, A. (2016). Improving the connection between the microscopic and macroscopic approaches to thermodynamics in high school. *Physics Education*, 51(6), 065010.
- Maxwell, J. C. (1904). *Theory of Heat* [reprint of the 2nd edition]. London: Longmans Green Co.
- McConnell, M. M., Monteiro, S., Pottruff, M. M., Neville, A., Norman, G. R., Eva, K. W., y Kulasegaram, K. (2016). The impact of emotion on learners' application of basic science principles to novel problems. *Academic Medicine*, 91(11), S58-S63.
- Meltzer, D. E. (2004). Investigation of students' reasoning regarding heat, work, and the first law of thermodynamics in an introductory calculus-based general physics course. *American Journal of Physics*, 72(11), 1432-1446.
- Pfundt, H., y Duit, R. (2009). *Bibliography: Students' alternative frameworks and science education*. Kiel, Germany: Institute for Science Education.
- Pinto, O. A., de Mishima, B. L., Dávila, M., Ramirez-Pastor, A. J., Leiva, E. P. M., y Oviedo, O. A. (2013). Computer simulation and detailed mean-field approximation applied to adsorption on nanoparticles. *Physical Review E*, 88(6), 062407.
- Planck, M. (1897). *Vorlesungen über Thermodynamik*. Leipzig: Verlag von Veit & Comp.
- Poggi, V., Miceli, C., y Testa, I. (2016). Teaching energy using an integrated science approach. *Physics Education*, 52(1), 015018.
- Ribeiro, G. T. C. (1992). Entropy and the second principle of Thermodynamics-Fourth year undergraduates' ideas. *Research in Assessment*, 9, 23-36.
- Rubi, J. M. (2008). The long arm of the second law. *Scientific American*, 299(5), 62-67.
- Smith, H. L., Li, C. W., Hoff, A., Garrett, G. R., Kim, D. S., Yang, F. C., ... y Abernathy, D. L. (2017). Separating the configurational and vibrational entropy contributions in metallic glasses. *Nature Physics*, 13(9), 900.
- Tarsitiani C. y Vicentini, M. (1996). Scientific Mental Representations of Thermodynamics. *Science & Education*, 5, 51-68
- Thomson, S. y De Bortoli, L. (2008). *Exploring scientific literacy: How Australia measures up*. Camberwell, Victoria, Australia: HACER.
- Uzun, A. M. y Yildirim, Z. (2018). Exploring the effect of using different levels of emotional design features in multimedia science learning. *Computers & Education*, 119, 112-128.
- Zemansky, M. W. y Dittman, R. H. (1979). *Calor y termodinámica* (Vol. 18). Aguilar.