

<https://doi.org/10.23913/ride.v12i24.1172>

Artículos científicos

Aprendizaje de la termodinámica a través de un cambio conceptual

Learning Thermodynamics Through a Conceptual Change

Aprendizagem da termodinâmica através de uma mudança conceitual

Héctor Henao

Universidad Técnica Federico Santa María, Chile

hector.henao@usm.cl

<https://orcid.org/0000-0002-4212-5982>

Alejandra Chávez

Universidad Técnica Federico Santa María, Chile

alejandra.chavez@usm.cl

<https://orcid.org/0000-0002-5086-2683>

Adriana María Ruiz Mojica

Consultor independiente, Chile

adriana.ruizmojica@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-5476-6464>

David Jofre

Consultor independiente, Chile

davojofre@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-3108-0627>

Resumen

Una de las principales dificultades en los procesos de enseñanza y aprendizaje es la existencia de ideas erróneas que conllevan a estructuras conceptuales deficientes llamadas frecuentemente *conceptos alternativos*. El presente trabajo propuso y puso en práctica una serie de innovaciones educativas en la enseñanza de la termodinámica, cuyo fin fue generar un conflicto cognitivo que permitiera al estudiante confrontar sus conceptos alternativos y modificarlos. Los cursos en los cuales se desarrolló este estudio se efectuaron de manera presencial durante los años del 2015 al 2019 y fue ajustada a modalidad no presencial durante los años 2020 y 2021. La metodología de investigación comprendió una extensa revisión bibliográfica, la selección de cuatro innovaciones educativas para el diseño del curso, la puesta en práctica de las innovaciones durante siete años y la evaluación de los impactos de las innovaciones a partir de encuestas escritas y entrevistas grupales. Los resultados revelan un alto grado de aceptación de las metodologías implementadas en el curso tanto para la modalidad presencial como para la modalidad no presencial. Los estudiantes expresaron que las innovaciones pedagógicas posibilitaron un cambio conceptual y el despertar de un sentido crítico sobre los contenidos de la termodinámica.

Palabras clave: conceptos alternativos, enseñanza de la termodinámica, metáforas, metodologías activas de aprendizaje.

Abstract

One of the main difficulties in the teaching and learning processes is the existence of erroneous ideas that lead to deficient conceptual structures, frequently called *alternative concepts*. The present work proposed and put into practice a series of educational innovations in the teaching of thermodynamics, whose purpose was to generate a cognitive conflict that would allow the students to confront their alternative concepts and modify them. The courses in which this study was developed were carried out face-to-face during the years 2015 to 2019 and were adjusted to non-face-to-face modality during the years 2020 and 2021. The research methodology included an extensive bibliographic review, the selection of four innovations education for the design of the course, the implementation of the innovations for seven years and the evaluation of the impacts of the innovations from written surveys and group interviews. The results reveal a high degree of acceptance of the methodologies implemented in the course, both for the face-to-face modality and for the

non-face-to-face modality. The students expressed that the pedagogical innovations made possible a conceptual change and the awakening of a critical sense about the contents of thermodynamics.

Keywords: alternative concept, teaching of thermodynamics, metaphors, active learning methodology.

Resumo

Uma das principais dificuldades nos processos de ensino e aprendizagem é a existência de ideias errôneas que levam a estruturas conceituais deficientes, freqüentemente chamadas de conceitos alternativos. O presente trabalho propôs e colocou em prática uma série de inovações educacionais no ensino da termodinâmica, cujo objetivo era gerar um conflito cognitivo que permitisse ao aluno confrontar seus conceitos alternativos e modificá-los. Os cursos em que este estudo foi desenvolvido foram realizados de forma presencial durante os anos de 2015 a 2019 e foram ajustados para a modalidade não presencial durante os anos de 2020 e 2021. A metodologia de pesquisa incluiu uma extensa revisão bibliográfica, a seleção de quatro inovações educacionais para o desenho do curso, a implementação das inovações por sete anos e a avaliação dos impactos das inovações a partir de pesquisas escritas e entrevistas em grupo. Os resultados revelam um alto grau de aceitação das metodologias implementadas no curso, tanto para a modalidade presencial quanto para a modalidade não presencial. Os alunos expressaram que as inovações pedagógicas possibilitaram uma mudança conceitual e o despertar de um senso crítico sobre os conteúdos de termodinâmica.

Palavras-chave: conceitos alternativos, ensino de termodinâmica, metáforas, metodologias ativas de aprendizagem.

Fecha Recepción: Agosto 2021

Fecha Aceptación: Febrero 2022

Introducción

El presente trabajo propuso, puso en práctica y evaluó por medio de encuestas y evaluaciones sumativas los resultados de innovaciones en la enseñanza de la asignatura Termodinámica Metalurgia. Las innovaciones se basaron en generar un conflicto cognitivo que permitiera al estudiante confrontar sus “conceptos alternativos” y modificarlos. La asignatura se imparte en el quinto semestre del plan de estudios de la ingeniería Civil Metalurgia y Materiales de la Universidad Técnica Federico Santa María [UTFSM] (2017, p. 4) de Chile. El número de estudiantes que cursan esta asignatura fluctúa entre 20 y 30 personas. Como prerrequisito figura haber cursado los cursos de física (cuatro cursos), química (tres cursos) y matemáticas (cuatro cursos). El curso se efectuó de forma presencial del 2015 al 2018. Debido a la pandemia de la enfermedad por coronavirus (covid-19), el curso pasó a modalidad virtual para los años 2020 y 2021.

En la literatura existe un amplio número de publicaciones relacionadas con la enseñanza y aprendizaje de la termodinámica, entre los cuales cabe mencionar Bain, Moon, Mack y Towns (2014), Cotignola, Bordogn, Punte y Cappannini (2002), Sözbilir, Pınarbaşı y Canpolat (2004) y Talanquer (2006). Estos estudios indican algunas de las dificultades que interfieren en el proceso de aprendizaje, tales como la naturaleza abstracta de los conceptos, cursos diseñados con sobrecarga de información y utilización de pedagogías centradas en el profesor. También existen numerosos estudios relacionados con las dificultades de modificar conceptos de la termodinámica que fueron construidos de forma inexacta y erróneamente integrados, tales como los trabajos de Haglund y Jeppsson (2013), Nilsson (2012), Nussbaum (1982, 1983), Talanquer (2014). Los autores señalan cómo los conocimientos han sido adquiridos a través de aprendizajes formales y sociales y de la interpretación de metáforas explicativas de fenómenos físicos que usualmente no concuerdan con aquellas validadas por la comunidad científica.

Aunque denominadas de diferentes formas, por ejemplo, en Granville (1985) y Smith, diSessa y Roschellie (1993), estas ideas mal construidas las llamaremos en este trabajo *conceptos alternativos*. Los estudios sugieren entonces la premisa de que los conceptos alternativos se convierten en barreras mentales para lograr el aprendizaje de la termodinámica.

Las innovaciones pedagógicas de este trabajo buscaron, por tanto, la generación de conflictos cognitivos que permitieran al estudiante confrontar sus conceptos alternativos y modificarlos. Para lo anterior, se diseñaron las siguientes cuatro estrategias metodológicas:

- 1) Una secuencia didáctica de clase que busca generar el conflicto cognitivo y que permita al estudiante confrontar sus conceptos alternativos y modificarlos.
- 2) La implementación de metodologías activas de enseñanza y aprendizaje a través del trabajo colaborativo y debate argumentado para la generación del conflicto cognitivo.
- 3) La búsqueda y análisis de las metáforas que los estudiantes emplearon para construir los conceptos alternativos.
- 4) La enseñanza de la termodinámica por medio de postulados a diferencia del método tradicional de enunciados.

Estos cuatro puntos se describen en detalle en los siguientes numerales, donde se incluyen las referencias bibliográficas a partir de las cuales fueron generadas las ideas de las innovaciones.

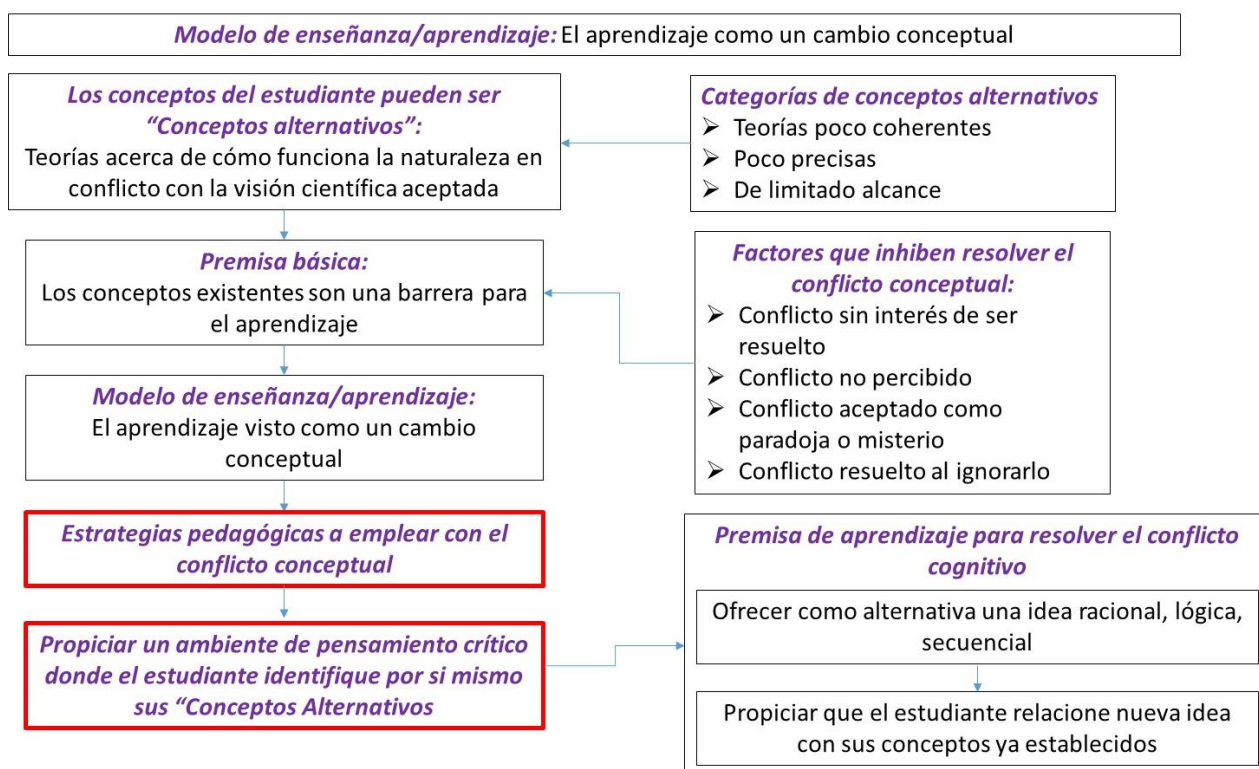
Elaborar una secuencia en cada clase con metodologías activas que permitieran al estudiante confrontar sus metáforas

Basado en los trabajos de Kuhn (2012) y Toulmin (1975), quienes indican la manera en que la ciencia históricamente ha avanzado a partir de sobrepasar paradigmas mentales, autores como Collins (1987), Hewson (1981), Hewson y Beckett (1984), Nusbaum (1983) y Posner, Stike, Hewson y Gertzog (1982) sugieren procesos similares en el aprendizaje de la ciencia. Algunas de estas ideas están contenidas en la figura 1, la cual fue construida, sin embargo, especialmente a partir del estudio de Hewson y Beckett (1984), donde se analiza cómo modificar conceptos alternativos a partir de concebir los procesos de enseñanza y aprendizaje como cambios conceptuales.

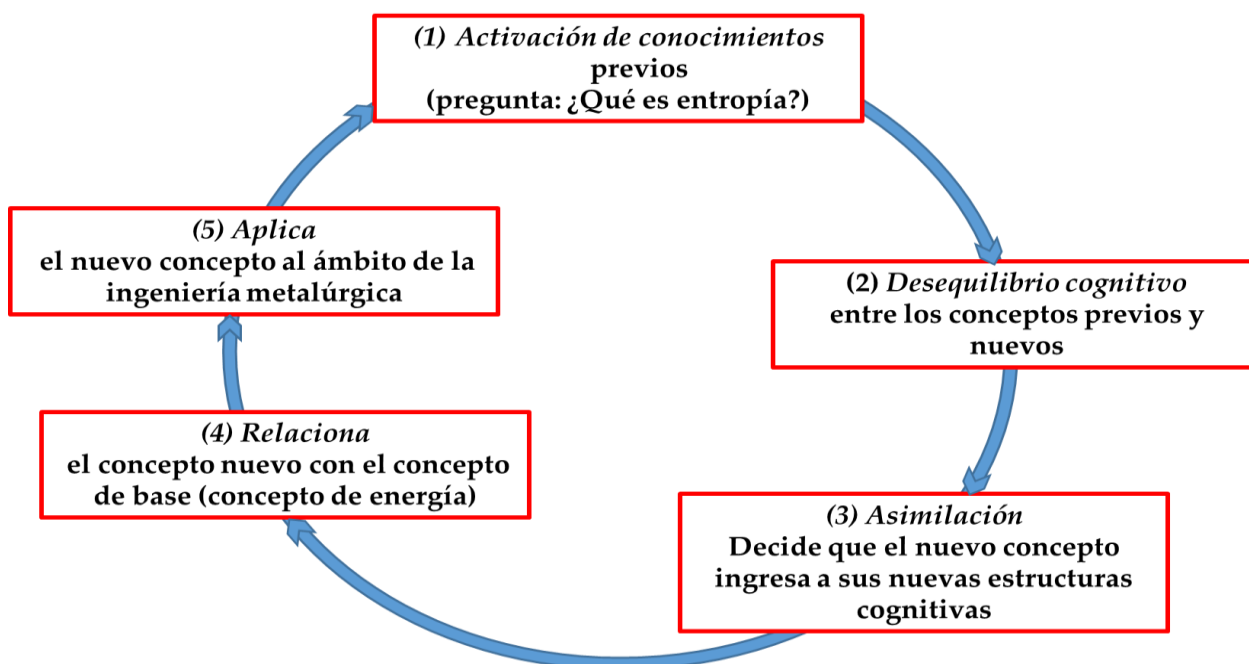
Las innovaciones pedagógicas de este trabajo tuvieron como eje principal la idea sugerida en la figura 1, a saber, que es posible sobrepasar una barrera en el aprendizaje en la medida en que se genere un conflicto conceptual y se ofrezca al estudiante una nueva alternativa racional y secuencial, la cual, para los autores de este trabajo, no es evidentemente clara en los cursos clásicos de termodinámica.

A partir del diseño de las actividades del curso, se busca el cambio conceptual planteado en la figura 1 y presentado en la figura 2 como una secuencia sistémica de activación de conocimientos, generación de un desequilibrio cognitivo, la asimilación de un nuevo concepto como una actividad racional, la relación del conocimiento al eje central de energía y la aplicación del conocimiento al área de la metalurgia.

Figura 1. Modelo epistemológico considerando el aprendizaje como un proceso de cambio conceptual



Fuente: Elaboración propia

Figura 2. Secuencia para la generación del conflicto cognitivo

Fuente: Elaboración propia

Implementación de metodologías activas de enseñanza y aprendizaje

Tomando como referencia los trabajos de Mazur (2009) y Mills y Treagust (2003), este estudio consideró al docente como el encargado de conectar los procesos de construcción del conocimiento de cada estudiante con el saber colectivo culturalmente organizado. Se enfatizó en una dinámica de clases opuesta a la de clases magistrales. El objetivo principal de las clases fue promover conflictos conceptuales que le permitan al estudiante un aprendizaje de la termodinámica más activo, confrontativo de sus propias ideas y receptivo de las opiniones de sus pares y del profesor, evitando que este último fuese el centro de las actividades.

Análisis de los conceptos alternativos de los estudiantes: en busca de las metáforas con las cuales estos fueron elaborados

En la literatura hay numerosos trabajos relacionados con los conceptos alternativos en el aprendizaje de la termodinámica, tales como Bain *et al.* (2014), Cotignola *et al.* (2002), Sözbilir *et al.* (2004) y Talanquer (2006). En estos estudios, los conceptos alternativos están vinculados con las metáforas, es decir, entendemos y percibimos conceptos básicos en términos de algo que consideramos más fácil de captar con nuestros sentidos. Dicha relación

está basada principalmente en los trabajos de Lakoff (2003), los cuales indican cómo en nuestro sistema conceptual las metáforas influyen en nuestra visión del mundo al resaltar ciertos aspectos de los conceptos y ocultar otros. Por tanto, nuestra experiencia del mundo físico está, a su vez, influenciada por nuestro lenguaje, y el lenguaje asimismo influencia nuestra interpretación y entendimiento de nuestras experiencias al interactuar con el mundo físico. Estas ideas tomadas de Lakoff son de utilidad para el presente trabajo como marco conceptual para la estrategia de confrontación y búsqueda de modificación de conceptos alternativos. Vale la pena aclarar que, en sintonía con Ortony (1993), no existe un consenso respecto a la definición de *metáfora* y su impacto en la forma de conceptualizar las ideas científicas. Conscientes de estas discordancias, y estando fuera del alcance de este trabajo una discusión adicional al respecto, la didáctica de los tópicos utiliza el concepto de *metáforas* de forma instrumental para analizar los procesos metacognitivos de los estudiantes. Así, desde los conceptos alternativos de los estudiantes, se buscaron aquellas metáforas que obstaculizaban la aprehensión de los conceptos termodinámicos de una forma apropiada.

Enseñanza de la termodinámica por medio de postulados a diferencia del método tradicional de enunciados

La asignatura de termodinámica es un curso fundamental en el programa académico de toda ingeniería. Los contenidos temáticos de esta asignatura en su forma tradicional comprenden los enunciados de las leyes de la termodinámica (primera, segunda y tercera ley), seguido de deducciones de poder calorífico, entalpía, entropía, criterio de equilibrio y energía libre de Gibbs. En el transcurso de la enseñanza, las deducciones se aplican a problemas hipotéticos o de aplicación industrial. Este tipo de estructura es encontrada, por ejemplo, en los libros de texto de Lee (2012), Matsushita y Mukai (2018) y Mortimer (2008).

Todas las representaciones mentales de la termodinámica concuerdan en la parte fenomenológica y aspectos teóricos, sin embargo, como lo señalan Tarsitani y Vicentini (1996), difieren en la estructura lógica y definición de los conceptos fundamentales. Algunos de los métodos alternativos de enseñanza de la termodinámica incluyen el uso extensivo de la matemática (Berker, 2012), la enseñanza basada en proyectos prácticos o en la solución de problemas químicos o termodinámicos (Mills, 2003; Reuf, 1983), cursos basados en simulación dinámica (Schnitker, 2008), técnicas de generación de analogías por parte del

estudiante (Haglund y Jeppsson, 2013) e inclusive el empleo de dramatizaciones (Stinner, 2003).

Para el curso se buscó un método que permitiera ofrecer al estudiante el desarrollo de una nueva idea como una actividad racional. Las características deseadas concuerdan en gran medida con la conceptualización de la termodinámica desde la formulación axiomática desarrollada por Tisza (1978), compilada en el libro de texto de termodinámica de Callen (1985). El desarrollo de estos dos autores contrasta con la forma tradicional que trata los principios termodinámicos como leyes. Recientemente, un libro en la misma línea axiomática de Tisza ha sido publicado por Keszei (2012).

Considerando lo anterior, las siguientes preguntas fueron planteadas durante el desarrollo del presente trabajo:

- ¿Un cambio metodológico en la enseñanza de la termodinámica, basado en las cuatro estrategias metodológicas mencionadas, puede conducir a los estudiantes a construir los conceptos previamente adquiridos hasta alcanzar un cambio conceptual?
- ¿Los estudiantes perciben que las innovaciones metodológicas del curso de termodinámica contribuyen positivamente en su proceso de aprendizaje?

La hipótesis propuesta fue que el conflicto cognitivo puede conducir a un cambio en la estructura conceptual del estudiante y promover un aprendizaje racional de los conceptos termodinámicos.

Los objetivos planteados fueron los siguientes:

- Elaborar una propuesta de innovación didáctica para asegurar conceptos en un curso de termodinámica metalúrgica y promover el pensamiento crítico.
- Soportar las innovaciones teniendo como base una revisión bibliográfica en el área de la enseñanza de la termodinámica.
- Implementar las estrategias en el aula.
- Evaluación del impacto de las innovaciones por medio de encuestas escritas y verbales a los estudiantes.

Consideramos que este trabajo es un aporte a la innovación didáctica de la educación de la termodinámica a nivel universitario, ya que abordan los procesos de enseñanza y aprendizaje a través de un cambio conceptual, con la combinación de las estrategias antes mencionadas, y con un análisis acerca de sus resultados obtenidos.

Metodología

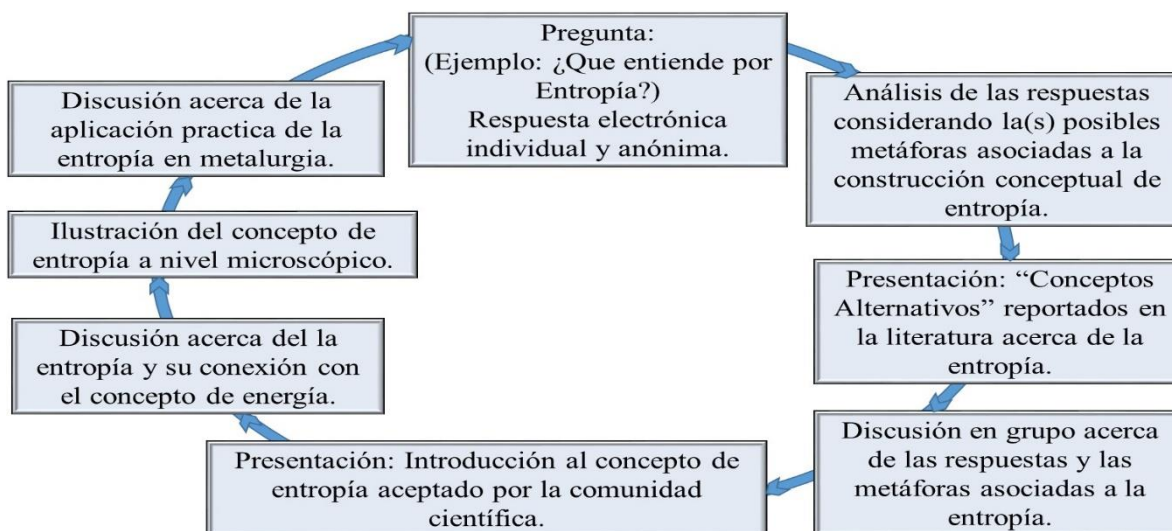
La metodología de investigación comprendió una extensa revisión bibliográfica referente a la enseñanza de la termodinámica. Basado en esta, se seleccionaron cuatro innovaciones educativas para el diseño del curso basadas en generar un conflicto cognitivo que permita al estudiante confrontar sus conceptos alternativos y modificarlos. Estas innovaciones fueron implementadas durante los años del 2015 al 2019 y fueron ajustadas a una modalidad no presencial durante los años 2020 al 2021. La evaluación de los impactos de las innovaciones se efectuó a partir de las opiniones de los estudiantes recogidas por medio de encuestas escritas y entrevistas grupales y de los resultados de evaluaciones sumativas. Unas breves descripciones de la implementación en aula se presentan en los siguientes numerales.

Implementación de la secuencia didáctica de cada clase

Concordante con los objetivos planteados, el diseño de la clase fue pensado de tal forma que generara un conflicto cognitivo según la secuencia presentada en la figura 2 y ofrecer la alternativa lógica para superar el concepto alternativo. La clase inicia con una pregunta, por ejemplo, “¿Qué entiende por *entropía*?”, las cuales, además de responderlas, deben complementar con un ejemplo. La respuesta es anónima y electrónica por medio de un sitio existente en la página web del curso. El estudiante tiene la oportunidad de reflexionar acerca de sus respuestas y compararla con las de sus pares. Seguidamente, como indica la figura 3, el profesor efectúa una corta exposición acerca de los conceptos alternativos reportados en la literatura. La siguiente sección corresponde a una discusión en grupos, donde los estudiantes comparan sus respuestas con los conceptos alternativos expuestos. Seguidamente, el concepto de *entropía* aceptado por la comunidad científica y en concordancia con la metodología del curso es presentado por el profesor. En esta etapa del curso, se ha discutido en clases previas los conceptos de *energía*, *sistema termodinámico simple*, *sistema termodinámico compuesto*, *paredes adiabáticas* y *diatérmicas*, *restricciones en un sistema compuesto* y *el postulado de equilibrio*. La entalpía es, entonces, la postulación de una función para sistemas en equilibrio, para la cual los valores de los parámetros de energía interna, volumen y número de moles de cada uno de los componentes del sistema deben ser tales que minimicen el valor de la función. En las subsiguientes secciones, en grupos, los estudiantes discuten acerca del concepto y su relación con la energía. En algunos

casos, se conecta el concepto con consideraciones del comportamiento de la materia a nivel microscópico y se cierra la clase con ejemplos de aplicación del concepto en el área de la metalurgia. Como se puede apreciar, la secuencia de cada clase contiene el encadenamiento para la generación del conflicto cognitivo teorizado en la figura 2.

Figura 3. Diseño de las actividades de una sesión del curso



Fuente: Elaboración propia

Implementación de metodologías activas

Se diseñó un esquema del curso con los métodos de enseñanza presentados en la tabla 1 (las ideas referidas corresponden a una adaptación de las metodologías planteadas en el trabajo de Henao, Chávez, Pizarro, García e Ibáñez [2018]). Antes del 2015, el curso tenía la orientación indicada en la columna izquierda; las innovaciones didácticas buscaron orientar los métodos de enseñanza a los descritos en la columna derecha. El énfasis se centró en la generación del conflicto cognitivo, promoción de un pensamiento crítico y en guiar al estudiante a encontrar sus conceptos alternativos.

Tabla 1. Comparación de los dos métodos de enseñanza

Método anterior	Método actual
Esfuerzo en qué enseñar y qué libro usar	Esfuerzo en ayudar a los estudiantes a generar conflictos cognitivos en el área de la termodinámica.
Presentaciones para entregar información (transmisión de información)	Promover el pensamiento crítico, permitir que el estudiante reconozca por sí mismo sus conceptos alternativos en el área de la termodinámica, ayudar al estudiante a desaprender o adaptar sus ideas al pensamiento aceptado por la comunidad científica.
Enseñanza basada en presentaciones.	Enseñanza basada en debate. Enseñanza de la termodinámica en forma de postulados, presentándola de una forma racional, lógica y secuencial.
Amplia cobertura de temas-baja comprensión	Menos cubrimiento de temas-alta comprensión. Menos énfasis en resolver problemas numéricos. Presentación breve de los tópicos de conceptos alternativos del área de la termodinámica reportados en la literatura y presentación breve de los conceptos termodinámicos de acuerdo con lo aceptado por la comunidad científica.

Fuente: Elaboración propia

En los cursos virtuales, un factor primordial en la metodología activa era asegurar la asistencia a las sesiones a través de la plataforma Zoom. Esto se logró incluyendo un incentivo en la nota total de evaluación para aquellos con asistencia superior a 85 % durante el semestre. En el caso de que la mayoría de los estudiantes hubiesen optado por estudiar las clases grabadas, habrían forzado un cambio de metodología no contemplada en el diseño del curso. Para los años donde el curso se realizó de forma no presencial, la asistencia de los estudiantes a las sesiones de Zoom fue mayor a 80 % en promedio.

Implementación de la búsqueda y análisis de las metáforas

Un pilar fundamental de la innovación en este trabajo es el reconocimiento de que nuestro sistema conceptual es fundamentalmente de naturaleza metafórica. Estas metáforas nos permiten percibir algunos componentes del concepto, pero necesariamente oculta otros. Por ejemplo, de acuerdo con Lancor (2012), es frecuente tratar de entender el concepto de energía como algo material (una sustancia que fluye), sin embargo, esto dificulta captar el aspecto de la degradación de la energía y, por tanto, entender los conceptos asociados como la *entropía*.

En la presente innovación pedagógica, las respuestas de los estudiantes a preguntas como qué es equilibrio, energía, entalpía, entropía y otras fueron analizadas durante los años 2015 a 2021. Como se explicó en el numeral anterior, sus respuestas fueron analizadas para dilucidar las posibles metáforas asociadas a las ideas expresadas por ellos y discutidas con sus compañeros de clase. Un análisis comparativo entre las respuestas colectadas desde los estudiantes con el concepto aceptado por la comunidad científica fue presentado en clase, a fin de que los estudiantes compararan, reflexionaran y discutieran sus respuestas con sus pares. Las respuestas recopiladas son presentadas a los estudiantes y las metáforas (o asociaciones) son señaladas por el instructor (o los estudiantes). Un ejemplo resumido y clasificado respecto al concepto de *entropía* se indica en la tabla 2; allí, las respuestas fueron ordenadas en columnas por elaboración del concepto, ejemplos y posibles metáforas o asociaciones. Las filas de acuerdo con la manera en que los estudiantes asocian la entropía como desorden, probabilidad y equilibrio. En la asociación de entropía con energía, los estudiantes no complementaron sus respuestas con ejemplos; en las asociaciones relacionadas a desorden y probabilidad, los ejemplos están relacionados a factores cotidianos. Puede observarse, además, que las respuestas son vagas y que los ejemplos asociados a la cotidianidad no tienen relación alguna con la definición científica. Los conceptos alternativos reportados en la literatura no difieren de los expresados por los estudiantes del curso. Por ejemplo, en la publicación de Brain (2014) los estudiantes definen la entropía como ‘desorden’, sin establecer lo que el término *desorden* significa en relación con la física/estadística/termodinámica. Información similar a la tabulada en la tabla 2 se desarrolla para los diferentes tópicos de la termodinámica que se estudian durante el curso.

Tabla 2. Conceptos alternativos, ejemplos y metáforas asociadas al concepto de *entropía*

Asociación	Elaboración del concepto.	Ejemplos	Posible metáfora asociada
Energía	<p>Lo que mide la entropía</p> <p>La energía (o diferencia) de energía de una reacción.</p> <p>Aumento de temperatura = más energía cinética = más desorden = más entropía</p>	No reportaron ejemplos	<p>Igual al concepto de <i>energía</i> antes discutido en clase.</p> <p>Entropía = energía = entalpía</p> <p>Entropía = temperatura</p>
Desorden	<p>La ruptura de enlaces en una reacción.</p> <p>Ruptura = desorden</p> <p>El desorden de un sistema.</p> <p>El desorden de las partículas.</p> <p>El universo tiende al desorden. Grado de desorden indicando si un proceso puede no ser reversible.</p>	<p>Probabilidad: las personas llenan aleatoriamente las bancas de un bus</p> <p>Desorden: si ordeno mi cuarto, la entropía del universo aumenta.</p> <p>Desorden a nivel molecular (un líquido tiene menos entropía que un gas).</p> <p>Si la entropía del universo < 0, este colapsaría.</p>	<p>Desorden entendido en su significado cotidiano.</p> <p>Desorden = probabilidad</p> <p>Desorden = movimiento de las partículas</p>
Probabilidad	El sistema se encontrará donde mayor sea su probabilidad de estar	Un gas se distribuye uniformemente en el volumen que lo contiene.	Asociación espacial de probabilidad.

	Medida del posible ordenamiento de moléculas	Las partículas se distribuyen de tal forma que minimizan su perturbación.	
Equilibrio	Si un sistema no cambia y es homogéneo, su entropía es cero (si un sistema no cambia, ningún parámetro cambia).	Una caja con pelotas de colores. Si se agita, se homogeniza.	De las respuestas, no es clara la asociación entre entropía y equilibrio

Fuente: Elaboración propia

Enseñanza de la termodinámica por medio de postulados

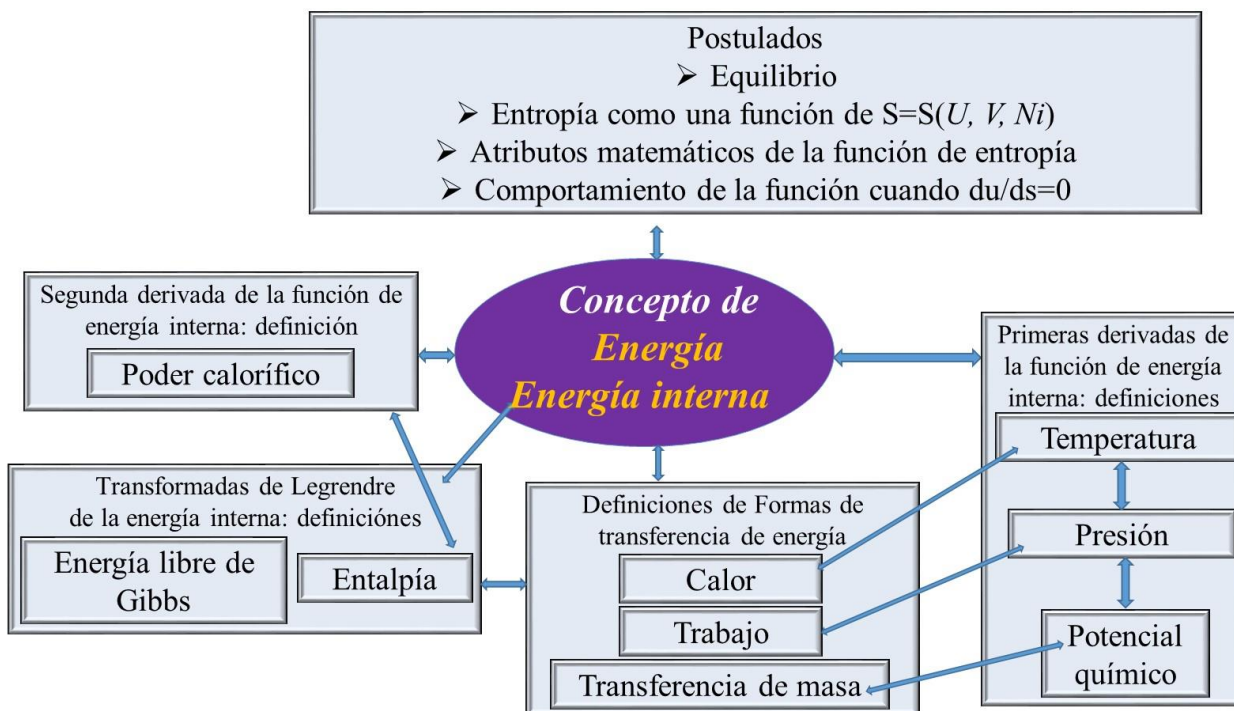
En la representación mental de la termodinámica seleccionada para el curso, el estudiante reconstruye los conceptos de la termodinámica a partir del concepto de *energía interna* de un sistema considerando cuatro postulados básicos: equilibrio, función de entropía, atributos matemáticos de la función de entropía y el comportamiento de la función de entropía a condiciones límites. De forma paralela, relaciona los fenómenos naturales de su entorno y analiza ejemplos prácticos vinculados con el área de la metalurgia. El esquema indicado en la figura 4 muestra cómo los conceptos de la termodinámica se interrelacionan con los de energía interna, lo que constituye una estructura lógica y secuencial. Las flechas indican las correlaciones existentes entre los diferentes conceptos y definiciones.

En todos los ejemplos y tareas, al estudiante se le solicita plantear los parámetros descriptivos de los sistemas en sus estados iniciales, las restricciones removidas entre los sistemas que permitieron el desarrollo de un proceso, los parámetros descriptivos de los estados finales de los sistemas y reflexionar acerca de por qué el proceso se lleva a cabo y por qué los sistemas adquirieron dichos parámetros finales.

A partir de estos postulados, el estudio de la termodinámica se torna en una operación de análisis lógico-matemático a partir de la cual se define *temperatura*, *presión* y *potencial químico*. Posteriormente, por medio de una transformada matemática (transformada de Legendre), se define *entalpía* y *energía libre de Gibbs*. En seguida, se determinan las

propiedades susceptibles de medir como el poder calorífico. Todo lo anterior aplicado a predecir (modelar) procesos de reciclaje de metales, producción de metales, procesos de producción de materiales y efectuar evaluaciones energético-ambientales.

Figura 4. Conceptos de la termodinámica que se relacionan con la energía



Fuente: Elaboración propia

Metodología de evaluación de resultados de las innovaciones

Los impactos de las innovaciones fueron analizados por medio de encuestas clase a clase, por encuestas escritas y verbales a mitad y final del semestre, a través de evaluaciones cuantitativas del desempeño del docente y por medio de evaluaciones sumativas del curso.

Encuestas clase a clase

Al final de cada clase, se solicitó a los estudiantes escribieran brevemente sobre lo siguiente:

- 1) Su opinión sobre la clase.
- 2) Sus sugerencias de mejora.

Las respuestas no debían ser menores a 20 palabras. Con ambos ítems se buscaba conocer de manera inmediata las impresiones de los estudiantes respecto a la metodología

de enseñanza de la clase y el nivel de aprendizaje que el alumno percibía alcanzar de los temas de estudio. Se encontraron respuestas referidas a si el tiempo de las discusiones en clase era suficiente, si las presentaciones del profesor eran claras y si la secuencia de la clase sí contribuía al conflicto cognitivo y al aprendizaje racional o si el estudiante percibía que su nivel de aprendizaje aumentaba. La encuesta era discutida en la clase siguiente y las sugerencias se implementaban oportunamente, esto es, se efectuaban las modificaciones metodológicas propuestas por los estudiantes. Estas encuestas permitían además detectar dificultades en los procesos de enseñanza y aprendizaje. Todas las respuestas fueron analizadas semana tras semana y, adicionalmente, compiladas durante todo el semestre. Un resumen de todas las respuestas obtenidas durante el semestre del 2018 está incluido en la tabla 4 (ver anexos).

Encuestas escritas o verbales a mitad y final de semestre

Una encuesta de evaluación docente con pautas autoaplicadas se efectuó a mitad y final de cada semestre. La encuesta se elaboró con el objetivo de obtener información respecto a las metodologías implementadas. Se solicitó a los estudiantes redactar sus opiniones sobre su experiencia de aprendizaje. Podían referir críticas, mejoras y sugerencias en torno a la metodología, contenidos del curso y el quehacer docente de acuerdo con el siguiente formato de la tabla 3.

Tabla 3. Formato de encuesta de evaluación docente efectuada a mitad de semestre

Opine cuáles fueron los aspectos positivos y los aspectos a mejorar de la experiencia educativa en los siguientes aspectos:

- El método de enseñanza: considerando el aprendizaje como un cambio conceptual.
- El planteamiento de la termodinámica: en términos de postulados y como una idea racional, lógica y secuencial.
- La secuencia didáctica de cada clase.
- Otro aspecto o comentario que quiera incluir.

Fuente: Elaboración propia

Con el fin de conocer la opinión de los estudiantes respecto a la educación no presencial, en los años de educación no presencial se incluyó la siguiente pregunta:

- Para este curso en particular, ¿consideras que la experiencia educativa de esta asignatura hubiese sido más completa de forma presencial?

Las respuestas de las encuestas fueron estudiadas por medio de un método de análisis del contenido del discurso, según metodología propuesta por Bardin (2002). Con esta herramienta se identificaron categorías, resultados y hallazgos sobre estas opiniones usando un *software* comercial para el análisis de contenido cualitativo (MAXQDA 2018). Lo anterior circunscrito a un diseño de investigación cualitativo exploratorio descriptivo descrito por autores tales como Salgado (2007), Touraine (2012) y Valdivia (2008). Ejemplos de resumen de los resultados para los cursos de los años 2018 y 2021 son indicados en la tabla 5 y tabla 6 (ver anexos).

Con el objetivo de obtener datos comparativos, se incluyó en este trabajo resultados cuantitativos de las encuestas docentes efectuadas por la universidad al final de los semestres 2018, 2019, 2020 y 2021. A través de estas se indagó el parecer de los estudiantes acerca del “manejo de contenidos y habilidades pedagógicas” y “la relación profesor-estudiante”. La primera incluyó preguntas respecto al docente: ¿mostró dominio de los contenidos?, ¿transmitió los contenidos del curso de forma clara y comprensible?, ¿creó un ambiente favorable para el aprendizaje?, ¿respondió adecuadamente las preguntas de los estudiantes?, ¿motivó a los estudiantes a adquirir el contenido del curso?, ¿estimuló la participación activa de los estudiantes en sus clases?, ¿mostró compromiso con el proceso de aprendizaje de los estudiantes?.

La segunda incluyó las siguientes preguntas respecto al docente: ¿promovió el diálogo entre los estudiantes?, ¿fue respetuoso con los estudiantes?, ¿estuvo abierto a recibir críticas y sugerencias de parte de los estudiantes?, ¿estableció una relación de confianza con los estudiantes?.

En esta encuesta los resultados son ponderados en una escala de calificación de cero a cuatro. Cabe señalar que la encuesta institucional incluye la pregunta “¿Cuánto aprendiste con este profesor en el curso?” y que esta se ponderó en una escala de uno a siete. Los resultados se presentan en la tabla 7 (ver anexos).

Evaluación sumativa del contenido del curso

Para evaluar el nivel de conocimiento conceptual de la termodinámica alcanzado a partir de postulados básicos y concluyendo en la formulación de funciones de uso práctico en la metalurgia, al finalizar el curso los estudiantes atendieron una evaluación sumativa escrita e individual. Los estudiantes debían desarrollar un mapa conceptual explicando las definiciones de las variables termodinámicas, relacionarlas entre sí, siendo el concepto de energía interna el eje central de toda la construcción conceptual. En la tabla 8 y tabla 9 (ver anexos) incluye el instrumento utilizado para la evaluación con la rúbrica de calificación respectiva.

Resultados

La innovación de enseñanza de la asignatura Termodinámica Metalúrgica a través de metodologías activas y el desarrollo de la termodinámica en términos de postulados, inició en el año 2015. Se trató de un proceso que partió de la identificación de necesidades para el aprendizaje de conceptos y enseñanzas centrales del ramo, tomando en cuenta las opiniones de los estudiantes por medio de encuestas clase a clase, encuestas a mitad de semestre y entrevistas grupales. En paralelo, se investigó acerca de las posibles innovaciones educativas a aplicar. Lo anterior sustentado en un diseño metodológico cualitativo descriptivo exploratorio que otorgó una aproximación sistemática y científica a lo referido por los estudiantes, de tal forma que permitió la elaboración de categorías que orientaron el diseño mencionado. Con esto se logró una planificación didáctica y un diseño instruccional que orientó un tránsito paradigmático, no solo metodológico y técnico. A través de las encuestas, los estudiantes ponderaron y sometieron a crítica las actividades grupales, las explicaciones del profesor, la discusión plenaria, las actividades individuales de simulación y revisión de material. Los años del 2015 al 2017 pueden ser considerados como de implementación. La metodología descrita en los numerales anteriores y la adaptación de las innovaciones educativas fueron completamente implementadas a partir del 2018.

El estudio indica un alto grado de aceptación de las innovaciones educativas en el curso tanto para la modalidad presencial como para la modalidad no presencial. Los estudiantes expresaron cómo el curso los condujo a un cambio conceptual y les provocó el despertar de un sentido crítico sobre los contenidos de la termodinámica. Se desprende, desde el estudio cualitativo de las respuestas, que no existe una mayor dificultad para poder

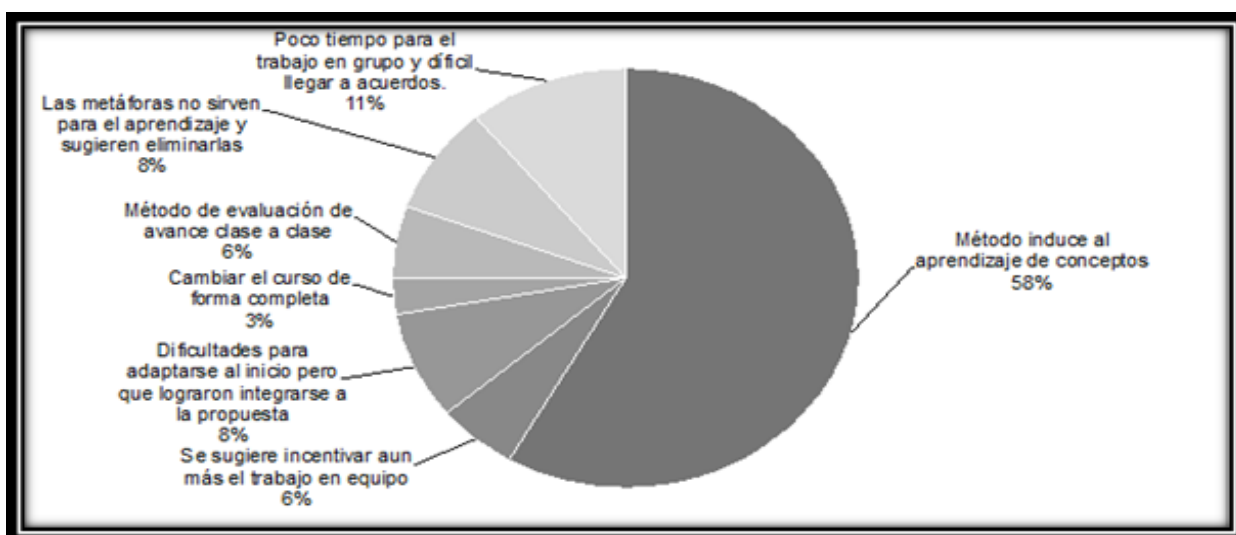
adaptarse a la metodología activa. Como se indica en la figura 5, 58 % de los estudiantes muestra una tendencia a reconocer el método implementado como un instrumento que ayuda al aprendizaje del concepto y tan solo 3 % reafirma cambiar el curso de forma completa. Esto revalida la metodología implementada tomando como factor esencial de este las encuestas realizadas. Se reconoce que una de las mejoras centrales del curso es optimizar el tiempo de trabajo grupal y guiar a los estudiantes en la constante búsqueda de respuestas.

Respecto al profesor como un mediador entre el conocimiento y los estudiantes, 57 % lo valida, lo que da cuenta de que el docente tiene un claro impacto en la forma en que los estudiantes sociabilizan conocimientos, por la manera en la que se desarrolla la discusión grupal. Esto cumple con los objetivos de la metodología activa, sin embargo, 43 % de los estudiantes cree que las explicaciones suelen ser abstractas, además de ser presentadas muy rápido.

En relación con las encuestas al final de cada clase, consideraron que ayudó a transparentar el desarrollo del curso.

Los estudiantes admiten que es complejo entender la dirección del curso en sus etapas iniciales. Sin embargo, una vez superado ese periodo, empiezan a entender los conceptos como una secuencia claramente conectada y consideran estar aprendiendo con claridad. Aprecian que el curso fuese planeado con meticulosidad y se efectura una retroalimentación clase a clase. Perciben deficiencias en el orden de las presentaciones de PowerPoint.

Figura 5. Estadística de respuestas positivas y negativas sobre el método de enseñanza 2018



Fuente: Elaboración propia

Consideran, además, que el método puede ser extendido a otros cursos, lo que ayudaría a enfrentar con pensamiento crítico cualquier área del conocimiento. Los estudiantes indicaron cómo la metodología empleada ha hecho llevadero el cambio de modalidad de presencial a no presencial, aunque consideran por unanimidad que las clases presenciales serían más provechosas.

En las clases presenciales, se logró la participación de los estudiantes para responder a las preguntas planteadas, según la secuencia de la clase, al enviar sus respuestas de forma electrónica y anónima. En las clases no presenciales, fue mucha menor la participación verbal, el trabajo colaborativo y el debate argumentado. Por tanto, aunque se lograron adaptar las metodologías a las circunstancias de enseñanza no presencial, es necesario efectuar ajustes adicionales a las metodologías activas para esta modalidad.

La información cuantitativa incluida en el anexo 4 indica cómo, para los parámetros evaluados, la ponderación de los estudiantes del curso en cuanto a manejo de contenidos y habilidades pedagógicas y la relación estudiante-docente en todos los años estuvo por encima del promedio del departamento y del promedio del campus de la universidad, sin presentarse para el curso una diferencia apreciable entre el modo presencial y no presencial (información obtenida del portal del Sistema de Gestión de la UTFSM).

Respecto a la pregunta de cuánto aprendió con el profesor del anexo 4, se observa un aumento significativo en la ponderación de los estudiantes en las clases no presenciales. Estos resultados, sumados al análisis de las encuestas escritas, indican una adaptación adecuada del curso a la modalidad no presencial (información obtenida del portal del Sistema de Gestión de la UTFSM).

Discusión

La hipótesis del presente trabajo planteó que el conflicto cognitivo puede conducir a un cambio en la estructura conceptual del estudiante y promover un aprendizaje racional de los conceptos termodinámicos. Para tal fin, se propusieron y pusieron en práctica innovaciones educativas en la enseñanza de la termodinámica para el curso de termodinámica metalúrgica de un programa de ingeniería. Las innovaciones incluyeron una secuencia de clase que permitieran al estudiante confrontar sus conceptos alternativos y modificarlos; implementación de metodologías activas de enseñanza y aprendizaje; búsqueda y análisis de las posibles metáforas que los estudiantes emplearon para construir

los conceptos alternativos, y enseñanza de la termodinámica por medio de postulados a diferencia del método tradicional de enunciados. Los impactos de las innovaciones fueron analizados por medio de encuestas y evaluaciones sumativas.

El resultado de la evaluación sumativa y el análisis de las encuestas sugieren que el curso posibilitó en la mayoría de los estudiantes el cambio conceptual esperado en ambas modalidades, presencial y no presencial.

Sin embargo, parte de la conclusión anterior se obtuvo a partir de la percepción del estudiante acerca del curso. Es difícil evaluar si el cambio conceptual se mantendrá por largo plazo o si su efecto es perecedero. Es importante señalar que diversos estudios indican la persistencia de los conceptos alternativos y la dificultad de erradicarlos aun después de innovaciones educativas bien planificadas.

Una limitación en la implementación de las primeras etapas del curso es la dificultad de los estudiantes de entender la dinámica y orientación de las clases. Es posible considerar que esto es debido a la formación recibida en los cursos de física. Igual que el planteamiento de la termodinámica en términos de postulados, la física es susceptible de enseñarse de la misma forma a partir del principio de mínima acción (o principio de Hamilton). Este podría considerarse equivalente al postulado de una función de entropía. Por tanto, una labor aún por hacer es integrar los cursos de física con esta innovación de enseñanza de la termodinámica.

Las investigaciones de enseñanza y aprendizaje de la termodinámica se podrían clasificar en estudios de conceptos alternativos con análisis de temas específicos como energía, calor, entropía u otros. Usualmente, incluyen recomendaciones metodológicas para lograr cambios conceptuales. Asimismo, la literatura reporta el uso de metáforas para examinar conceptos termodinámicos y su enseñanza y aprendizaje. Otra área activa de investigación es el uso de diferentes alternativas de enseñanza de la termodinámica, por ejemplo, desde un punto de vista matemático, histórico, molecular y otros antes mencionados. Este tipo de investigaciones usualmente reportan resultados de aprendizaje. Considerando que el presente trabajo empleó un conjunto de diferentes metodologías para el diseño del curso, una de sus limitaciones es la dificultad de evaluar el peso de cada una en el proceso de aprendizaje. Por lo anterior, resulta difícil efectuar una comparación del presente trabajo con los encontrados en la literatura. Se podría considerar que la enseñanza por medio de postulados y la generación del conflicto cognitivo que esto contribuye a generar son los factores de mayor impacto en los estudiantes.

Conclusiones

Los resultados de las evaluaciones sumativas mostraron que 84 % de los estudiantes pasaron la evaluación con un promedio de un 75/100 en sus calificaciones, lo cual puede ser considerado como un indicio adicional de la efectividad de las metodologías implementadas. En el año 2018, se iniciaron las pruebas de un modelo de test de conocimientos con el fin de evaluar el posible cambio conceptual comparativo al inicio y final del curso. Los resultados serán el tema de un próximo trabajo.

Está fuera del alcance del estudio evaluar cuál (o cuáles) de las cuatro estrategias es más efectiva en el proceso de enseñanza y aprendizaje. De los resultados de los años presenciales y no presencial, se extrae que probablemente la metodología activa no es la más importante. A pesar de las dificultades en su implementación en la modalidad no presencial, la percepción del curso por parte de los estudiantes en algunos aspectos mejoró. Tampoco tenemos respuestas acerca de cómo implementar una modalidad no presencial que incluya en mayor medida metodologías activas. Los estudiantes sugieren dividir el grupo en pequeñas sesiones, donde se lleven a cabo discusiones interactivas de pequeños grupos. Estas ideas serán implementadas en los cursos siguientes, en caso de que estos continúen de forma no presencial.

En este trabajo no se presentan comparaciones entre un curso tradicional y este empleando las cuatro metodologías. La única comparación posible en el momento es el curso tradicional a cargo de otro docente. Como indica el anexo 4, para ese curso en particular los estudiantes lo ponderaron de forma cuantitativa por debajo del promedio del departamento y del campus.

Futuras líneas de investigación

La implementación del curso de forma no presencial se debió a situaciones fuera de nuestro control, por tanto, las adaptaciones metodológicas se efectuaron sobre la marcha. Futuras investigaciones podrían estudiar referencias bibliográficas que permitan tener un soporte conceptual para incorporar de forma planificada metodologías no presenciales. Con esta base, las investigaciones podrían incluir comparaciones objetivas entre cursos presenciales y no presenciales.

Por otro lado, en la mayoría de los grupos de estudiantes con los cuales se efectuó esta investigación, es claro que un porcentaje de ellos tiene dificultades para adaptarse a las metodologías de enseñanza implementadas. Estos estudiantes, de ser identificados previamente, podrían hacer parte de un grupo de control. De esta forma, se compararía con mayor certeza el método de enseñanza tradicional con el planteado en este estudio. La identificación de los estudiantes como posibles integrantes del grupo de control podrían ser seleccionados a través de test psicológicos y con la aceptación del estudiante.

Otro aspecto a incluir en investigaciones futuras es el impacto de las metodologías de este estudio en la solución de problemas prácticos de la metalurgia, en comparación con el método tradicional de enseñanza de la termodinámica. Este estudio se podría efectuar de forma paralela con el sugerido en el numeral anterior.

El presente estudio será complementado en un futuro con una evaluación de conocimientos conceptuales de la termodinámica al inicio y final del curso, diferente a la evaluación sumativa. En el momento se está desarrollando el instrumento necesario para dicha evaluación. Si bien en la literatura existen este tipo de instrumentos, su objetivo es evaluar conceptos muy puntuales como el de *energía*, sin tener en cuenta una integración general de la termodinámica.

Otra línea interesante de estudio está relacionada con determinar el impacto a largo plazo de las metodologías implementadas en el curso. Por ejemplo, su influencia en otros cursos, en la solución de problemas de ingeniería donde la termodinámica no sea el factor preponderante (por ejemplo, los aspectos cinéticos de los procesos) y en el desempeño en la vida laboral como ingenieros. Esto requeriría un seguimiento del estudiante a largo plazo en su desempeño universitario y laboral.

Referencias

- Bain, K., Moon, A., Mack, M. R. and Towns, M. H. (2014). A review of research on the teaching and learning of thermodynamics at the university level. *Chemistry Education Research and Practice*, (15), 320-335. Retrieved from <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2014/RP/C4RP00011K>.
- Bardin, L. (2002). *Análisis de contenido*. Madrid, España: Akal.
- Berker N. and Towns, M. (2012). Students' understanding of mathematical expressions in physical chemistry context: An analysis using Sherin's symbolic forms. *Chemical Education Research and Practice*, 13(3), 209-220.
- Callen, H. (1985). *Thermodynamics and an Introduction to Thermostatistics* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Cotignola, M. I., Bordogn, C., Punte, G. and Cappannini, O. M. (2002). Difficulties in Learning Thermodynamic Concepts Are They Linked to the Historical Development of this Field? *Science & Education*, (11), 279-291. Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1023%2FA%3A1015205123254>.
- Granville, M. F. (1985). Student misconceptions in thermodynamics. *Journal of Chemical Education*, 62(10), 847-848. Retrieved from <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ed062p847>.
- Haglund, J. and Jeppsson, F. (2013). Confronting Conceptual Changes in Thermodynamics by Use of Self-Generated Analogies. *Science & Education*, (23), 1505-1529. Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11191-013-9630-5>.
- Henao, H., Chávez, A., Pizarro, C., García, C. e Ibáñez, J. (2020). Innovación basada en metodologías activas para el aprendizaje en la asignatura Pirometalurgia de la Universidad Técnica Federico Santa María, Chile. *RIDE, Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo* 10(20). Recuperado de <https://www.ride.org.mx/index.php/RIDE/article/view/642>.
- Hewson P. W. (1981). A Conceptual Change Approach to Learning Science. *European Journal of Science Education*, 3(4), 383-396. Retrieved from <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0140528810304004>.

- Hewson, P. W. and Beckett, M. (1984). The role of conceptual conflict in conceptual change and the design of science instruction. *Instruction Science*, (13), 1-13. Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00051837>.
- Holland, D. and Quinn, N. (1987). *Cultural Models in Language and Thought*. United Kingdom: Cambridge University Press. Retrieved from <https://doi.org/10.1017/CBO9780511607660>.
- Keszei, E. (2012). *Chemical Thermodynamics. An Introduction*. Springer. Retrieved from <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-19864-9>.
- Kuhn, T. (2012). *The Structure of Scientific Revolution* (4th ed.). Chicago, United States: The University of Chicago Press.
- Lakoff G. and Johnsen M. (2003). *Metaphors we live by*. The University of Chicago press.
- Lancor R. (2014). Using Metaphor Theory to Examine Conceptions of Energy in Biology, Chemistry, and Physics". *Science & Education*, (23), 1245-1267. DOI: 10.1007/s11191-012-9535-8
- Lee, H-G. (2012). *Materials Thermodynamics: With Emphasis on Chemical*. World Scientific. Retrieved from <https://doi.org/10.1142/8274>.
- Matsushita, T. and Mukai, K. (2018). *Chemical Thermodynamics in Materials Science: From Basics to Practical Applications*. Switzerland: Springer.
- Mazur, E. (2009). Farewell, Lecture? *Science*, 323, 50-51.
- Mills, J. and Treagust, D. (2003). Engineering Education-Is problem-based or Project-Based Learning the Answer? *Australasian Journal of Engineering Education*, 3, 2-16. Retrieved from http://www.aee.com.au/journal/2003/mills_treagust03.pdf.
- Mortimer, R. G. (2007). Decisions in the Physical Chemistry Course Advances in Teaching Physical Chemistry. In Ellison, M. D. and Schoolcraft, T. A. (eds.), *Advances in Teaching Physical Chemistry* (pp 28-39). Washington, United States: American Chemical Society.
- Nilsson T. and Niedderer H. (2013). Undergraduate students' conceptions of enthalpy, enthalpy change and real concepts. *Chemical Education Research and Practice*, (15), 336-353 DOI: 10.1039/c2rp2013.5f.
- Nussbaum, J. and Novick, S. (1982). Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation: Toward a principled teaching strategy. *Instructional Science*, (11), 183-200. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/BF00414279>.

- Nussbaum, J. (1983). Classroom conceptual change: The lesson to be learned from the history of science. In Helm, H. and Novak, J. D. (comps.), *Proceedings of the International Seminar "Misconceptions in Science and Mathematics"* (pp. 272-281). Ithaca, United States: Cornell University.
- Ortony A. (1993). *Metaphor and Thought*, Edited by Northwestern University (2nd ed.). Illinois, United States: Cambridge University Press. Retrieved from <https://doi.org/10.1017/CBO9781139173865>.
- Posner, G. J, Stike, K. A., Hewson, P. W. and Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual Change. *Science Education*, 66(2), 211-227. Retrieved from <https://doi.org/10.1002/sce.3730660207>.
- Reuf, F. (1983). How can chemists teach problem solving? Suggestions derived from studies of cognitive processes. *Journal of Chemical Education*, 60(11) 948-953. Retrieved from <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ed060p948>.
- Salgado, A. (2007). Investigación cualitativa: diseños, evaluación del rigor metodológico y retos. *Liberabit*, 13(13), 71-78. Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-48272007000100009.
- Schnitker, J. (2008). Molecular-level simulations as a chemistry teaching tool. In Ellison, M. D. and Schoolcraft, T. A. (eds.), *Advances in Teaching Physical Chemistry* (pp 207-219). Washington, United States: American Chemical Society.
- Smith, J. P., diSessa, A. A. and Roschelle, J. (1994). Misconceptions Reconceived: A Constructivist Analysis of Knowledge in Transition. *The Journal of the Learning Sciences*, 3(2), 115-163. Retrieved from https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1207/s15327809jls0302_1.
- Sözbilir, M. (2004). What Makes Physical Chemistry Difficult? Perceptions of Turkish Chemistry Undergraduates and Lecturers. *Journal of Chemical Education*, 81(4), 573-578. Retrieved from <https://doi.org/10.1021/ed081p573>.
- Sözbilir, M., Pınarbaşı, T. and Canpolat, N. (2010). Prospective Chemistry Teachers' Conceptions of Chemical Thermodynamics and Kinetics. *Eurasia Journal of Mathematics Science & Technology Education*, 6(2), 111-120.
- Stinner A. and Jurgen T. (2003). Lord Kelvin and Age-of-the Earth Debate: A Dramatization. *Science & Education*, (12), 213-228.

- Talanquer, V. (2006). Commonsense Chemistry: A Model for Understanding Students' Alternative Conceptions. *Journal of Chemical Education*, 83(5), 811-816.
- Talanquer, V. (2014). Chemistry Education: Ten Heuristics to Tam. *Journal of Chemical Education*, 91(8), 1091-1097.
- Tarsitani, C. and Vicentini, M. (1996) Scientific mental representations of Thermodynamics. *Science & Education*, 5, 51-68.
- Tisza, L. (1978): *Generalized Thermodynamics*. United States: MIT Press.
- Toulmin, S. (1975). *Human Understanding*. London, England: Ely House, Oxford University Press.
- Touraine, A. (2012). *Crítica de la modernidad*. Ciudad de México, México: Fondo Cultura Económica.
- Universidad Técnica Federico Santa María [UTFSM]. (2017). *Plan de estudios de la carrera de Ingeniería Civil Metalurgia y Materiales*. Recuperado de <http://www.usm.cl/admision/carreras/casa-central/ingenieria-civil-metalurgica/>.
- Valdivia, C. G. (2008). *El internista en la práctica clínica habitual. Problemas y soluciones*. Santiago, Chile: Departamento de Salud Pública. Pontificia Universidad Católica de Chile. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/431232417/El-internista-en-la-practica-clinica-habitual-problemas-y-soluciones-el-enfoque-descriptivo-pdf>.

Rol de Contribución	Autor (es)
Conceptualización	Hector Henao (Principal) Alejandra Chávez (Que apoya) David Jofre (Que apoya)
Metodología	Hector Henao (Principal) Alejandra Chávez (Que apoya) David Jofre (Que apoya)
Software	NO APLICA
Validación	Hector Henao (Principal) Alejandra Chávez (Que apoya) David Jofre (Que apoya)
Análisis Formal	Hector Henao (Principal) Alejandra Chávez (Que apoya) David Jofre (Que apoya)
Investigación	Hector Henao (Principal) Alejandra Chávez (Que apoya) David Jofre (Que apoya)
Recursos	NO APLICA
Curación de datos	Héctor Henao (Principal) Adriana Ruiz (Que apoya)
Escritura - Preparación del borrador original	Héctor Henao (Principal) Alejandra Chávez (Que apoya) David Jofre (Que apoya) Adriana Ruiz (Que apoya)
Escritura - Revisión y edición	Hector Henao (Principal) Adriana Ruiz (Que apoya)
Visualización	Hector Henao (Principal) Adriana Ruiz (Igual)
Supervisión	Héctor Henao (Principal) Alejandra Chávez (Que apoya) David Jofre (Que apoya)
Administración de Proyectos	Héctor Henao (Principal)
Adquisición de fondos	Héctor Henao (Principal) Alejandra Chávez (Que apoya)

Anexos

Tabla 4. Resumen de resultados de encuestas clase a clase para el año 2018

Pregunta	Núm. de respuestas	Categoría	Respuestas
Opiniones acerca de la clase	15	Metodología y comprensión de los conceptos	El método de enseñanza induce al aprendizaje de los conceptos de termodinámica
	8	Capacidad del profesor	Estudiantes declaran que “es capaz de enseñar”, “tiene buena disposición”, “el profesor se preocupa”, “es un excelente guía en la clase”.
	6	Aprendizaje activo	La metodología estimula la búsqueda y aprendizaje de conceptos. Distintas técnicas del curso son mencionadas como facilitadoras: el debate, el diálogo grupal, ejemplos y método basado en metáforas.
	2	Método de evaluación por clase	Se refiere tanto al interés del profesor en medir e implementar mejoras como a la valoración del estudiante en torno a su aprendizaje.
	2	Promoción del trabajo en grupo	Manifiestan que fue generado un ambiente propicio para: “escuchar otras ideas”. Aunque, se sugiere incentivar aún más el trabajo grupal y plenario.
Sugieren ideas de mejoras	8	Las PPT y tutoriales	Son señalados como recursos insuficientes. La mayoría sugiere un

			cambio en el diseño y ejecución de tutoriales.
	7	Ejemplos, Talleres y Ejercicios	Fueron considerados como insuficientes
	6	Explicación del profesor	Se califican como “muy abstractas”, “repetitivas”, “no bien preparadas” y “muy rápidas”. Se pide ser más concreto en la explicación.
	4	Metodología grupal	Hay dificultades en acoplar un buen grupo de trabajo con sus pares. Además, se critica el diseño de las actividades; no es suficiente el tiempo asignado para ejecutarlas y hay dificultad en acordar/consensuar el trabajo asignado.
	5	Adaptación a la nueva metodología	Los estudiantes expresan qué dificultades iniciales para ajustarse a una metodología activa de aprendizaje. Sin embargo, enuncian que lograron integrarse a la propuesta. Un estudiante prefiere la clase magistral.
	3	Método basado en metáforas	Indican que no aportó a su aprendizaje. Es preferible no seguir usando metáforas.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Resumen de resultados de encuestas escritas o verbales a mitad y final de semestre para el año 2018.

Metodología	Núm.	Respuestas
Planteamiento en términos de postulados	25	Se describe como novedoso
		Es una metodología distinta a otras, no se basa en entregar información para asumirla como verdad absoluta.
		En el discurso de los estudiantes el ejercicio de metaforizar, reflexionar críticamente y favorecer el entendimiento es desempeñado/facilitado por el profesor
		Es posible describir que los resultados descritos y las actitudes positivas hacia la metodología ocurrieron de manera sucesiva y acumulativa a lo largo de las clases.
		Una de las frases señala que al profesor “le gusta enseñar”. Se aprecia compromiso, preocupación e intentos permanentes para favorecer el correcto entendimiento por parte de los estudiantes.
		El profesor influyó para desarrollar pensamiento crítico ante la literatura/bibliografía. Las teorías se entienden como postulados o convenciones que no constituyen una verdad absoluta.
		El profesor se preocupa por aprender y mejorar continuamente.
		El profesor y su modalidad es excelente, el curso requiere de dedicación si deseas aprender. Todos los cursos debiesen tener esta modalidad, ya que el estudiante aprende por sí mismo y no se limita a repetir lo que dice el profesor, como suele pasar en todos los demás ramos.
Planteamiento en términos de postulados	10	Es reconocida la metodología para introducir la clase, enunciar los contenidos que serían abordados en la jornada. Además, favoreció el diálogo.
		Este método facilitó el entendimiento, promovió el pensamiento crítico y científico, se logró dar materialidad y objetivar el concepto.
		Se aprecia interés por parte del profesor para que el estudiante entienda los conceptos tratados. El profesor otorga tiempo tanto en

		la sesión o clase como en otros espacios de la universidad y su oficina.
Secuencia de cada clase Iniciar la clase con una pregunta	11	Otorga confianza a los estudiantes.
		El trabajo grupal aumenta la velocidad del aprendizaje por la interacción y el efecto sinérgico que implica focalizarse en un concepto u objetivo.
		Es valorado en comparación con el método tradicional donde es expuesto/entregado unidireccionalmente el conocimiento.
		El rol del profesor es descrito en la intencionalidad de generar diálogo y discusión durante el trabajo grupal.
		La participación dentro del grupo y en los plenarios aumentó con el paso de las clases
		El profesor promovió reflexionar críticamente sobre la propia práctica como ingenieros.
Otros aspectos	7	El uso de pizarra facilitó la comprensión sin la necesidad de anotar en cuaderno u otro medio de registro.
		El uso de pizarras en el trabajo grupal promovía la participación

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Resumen de resultados de encuestas escritas o verbales a mitad y final de semestre para el año 2021.

Metodología	Núm.	Respuestas
Planteamiento en términos de postulados	22	Me ayudó a eliminar ideas que vienen de antes.
		Me aclaró los conceptos que tenía, permitiéndome completar y entender de mejor manera el curso.
		Jamás me había preguntado si se podía aprender o no, o qué ideas tenían previamente de los conceptos.
		Considero que es una metodología aplicable a otros cursos.
		El curso lo encuentro un desafío personal. Estoy acostumbrada a que simplemente me presenten cómo enfrentar un problema con fórmulas sin plantearme ni cuestionarme todo desde cero.
		Este método me cuestionó todo lo que ha aprendido y se comienza a entender de otra manera los conceptos.
		El método me hace sentir que el profesor confía en nuestra capacidad intelectual.
Planteamiento en términos de postulados	15	Es positivo tener una misma línea de trabajo a lo largo del curso y que los conceptos se vayan relacionando entre sí. Asimismo, la metodología de trabajo clase a clase ayuda a ir asimilando los conceptos de forma colectiva.
		El trabajo con postulados nos permite tener una idea general sin perder demasiada información relevante.
		El plantear la termodinámica desde distintos puntos de vista (tanto matemático como conceptual) ayuda a pulir los conceptos de forma adecuada.
		Las clases han sido llevaderas ya que se ha ido secuenciando cada uno de los aspectos importantes, generando un pensamiento un poco más profundo y crítico de la termodinámica.
		En un comienzo me causó un poco de queja mental, no entendía cuál era el planteamiento de la termodinámica, o el enfoque del profesor. Sin embargo, con el tiempo logré tomar el sentido del planteamiento, tomándolo como algo más reflexivo y teórico, en contraste con algo

		<p>numérico. Con esto, logré entender que la mayoría de estas ideas están basados en postulados, con una sintaxis lógica, que van unidos racionalmente con un tema en común, y esto atribuye a un término más general sobre los temas tratados de energía. Ahora considero primordial partir de lo básico o el origen hacia una manera de captar algo más allá.</p>
		<p>El plantear la termodinámica y sus postulados como una idea racional, lógica y secuencial ayuda a ver todo como un conjunto, es decir, nos muestra el cómo se relacionan los conceptos.</p>
		<p>La manera en la cual se planifico la asignatura está bien, nos ha enseñado todo de la manera más secuencial posible. Logra que unamos contenidos simples con algunos más complejos. A veces es más difícil de entender cuando se va directamente al punto.</p>
		<p>Al no estar familiarizados, la metodología se hace densa y difícil de comprender. Con el paso del tiempo y acostumbrándose un poco más, el método se hace más fácil.</p>
<p>Secuencia de cada clase</p>	<p>17</p>	<p>La estructura de las clases propicia el entendimiento de los conceptos planteados en clase.</p>
		<p>El profesor planteó el curso de una forma meticulosa y planeada con antelación. Gracias a esto, el curso se hace más ameno y amigable para el estudiante.</p>
		<p>Me gusta que se analicen las respuestas de las encuestas previas, ya que así se facilita percibir el pensamiento errado.</p>
		<p>Se genera una constante complementación de la materia, lo cual hace que muchos conceptos no logren perderse con el paso de la materia y las clases.</p>
		<p>La retroalimentación en términos de la clase y su contenido, para luego partir con preguntas respecto a la materia que se empezará a conocer, para finalmente lograr una discusión del tema a tratar es acertado. Se toma cada parte de lo necesario para seguir aprendiendo, y lograr naturalizar los conocimientos o al menos tomar un juicio (o duda) de la ciencia como tal.</p>

		Es un buen ejercicio de razonamiento el hacernos pensar sobre los conceptos, concientizándonos respecto a lo que creíamos significaban. El problema de los conceptos se atacó desde la base, más que incorporando nuevos conocimientos.
		Al estar todo relacionado y cada concepto unido con otro, se puede hacer un seguimiento sin perder el hilo.
		Se podría mejorar con actividades colaborativas entre los estudiantes.
Otros aspectos	7	Es motivador el efectuar una consultas al inicio de la clase con la finalidad de reconstruir los contenidos presentados en el curso y analizando las opiniones de los estudiantes constantemente para transparentar el desarrollo del curso.
		Considero que revisar los comentarios de los estudiantes antes de comenzar una clase es una muy buena dinámica para transparentar el desarrollo del curso.
		La secuencia de clase está muy bien diseñada, pero los PowerPoint deben mejorarse. Hacerlos en manera secuencial, de paso a paso, puede que permita que sea más divertido de leerlos o tomarles atención durante o después de la clase.
		No colocar tanto texto en las diapositivas para que no se genere un estrés visual.
Experiencia educativa no presencial	18	La actitud y predisposición en cada clase hace que esta sea más amena, y que pese a todo este sistema de clases no presencial, se haga más llevable el asistir a clases, ya que interactúa con nosotros, a diferencia de otros ramos.
		El profesor de por sí fomenta bastante la participación en clase, lástima que el contexto no dé para realizar este curso de forma presencial, pues ahí se notaría mucho más potenciada la metodología que plantea el profesor.
		Me hubiese gustado que este curso fuera presencial, considero que se hubiese aprovechado al máximo.

		<p>Siento que la forma presencial hace más propicio el estudio de la asignatura, destacando que el profesor se adaptó bien de forma virtual.</p> <p>Según mi experiencia con las clases no presencial, siento que se ha perdido la costumbre de interactuar a la hora de responder las preguntas planteadas, y también el hecho de realizar preguntas al profesor, por el hecho de que se siente lejanía, al no conocerse en persona.</p> <p>De forma virtual no suele ser tan motivante, quizás la esencia de vivir no es sólo mirar una pantalla, o hablar tras un micrófono, pues es difícil naturalizar aquello de un día para otro, pues el humano como tal, tarda años y mucho más en adecuar costumbres o formas de percepciones distintas a la tomadas desde la niñez, pero es totalmente entendible que se quiera mejorar siempre la educación y la forma de enseñar bajo este contexto que ha traído muchas repercusiones en términos de salud y psicológicos.</p>
Otros aspectos	7	Lo más probable es que sí, debido a que por medio de las clases no presencial hay muchos problemas que se pueden generar en los estudiantes, ya sea distracciones u otros caminos como ayudar en casa y no tener el tiempo necesario para estar pendiente 100 % a la clase, ya que cuando a veces hay que ayudar en la casa, la mamá a veces se enoja si uno no lo hace.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Resultados de encuesta docente comparativos, profesor, departamento, campus.

Años 2018, 2019, 2020, 2021

Aspecto evaluado	Modalidad	Año	Profesor	Departamento	Campus
Manejo de contenidos y habilidades pedagógicas (escala del 1 al 4)	Presencial	2018	3.6	3.4	3.7
		2019	3.8	3.5	3.7
	No presencial	2020	3.8	3.7	3.7
		2021	3.9	3.6	3.7
	Curso metodología tradicional		3.3	3.5	3.7
Relación profesor estudiante (escala del 1 al 4)	Presencial	2018	3.7	3.5	3.7
		2019	3.9	3.5	3.7
	No presencial	2020	3.9	3.7	3.7
		2021	3.9	3.6	3.7
	Curso metodología tradicional		3.4	3.5	3.7
¿Cuánto aprendiste con este profesor en el curso? (escala del 1 al 7)	Presencial	2018	5.6	5.6	5.9
		2019	5,5	5,5	5,9
	No presencial	2020	6.4	5.9	5.9
		2021	6.5	5.8	6.0
	Curso metodología tradicional		4.8	5.6	5.9

Fuente: Información obtenida del portal del Sistema de Gestión de la UTFST

Objetivo del certamen:

Evaluar el nivel de conocimiento del estudiante acerca del desarrollo conceptual de la termodinámica, partiendo de postulados básicos y concluyendo en la formulación de funciones de uso práctico. Se espera que el estudiante demuestre que el desarrollo conceptual desemboca en la formulación de ecuaciones que describen los procesos termodinámicos por medio de parámetros susceptibles de medir experimentalmente.

Preguntas:

1) (10 puntos) Describa el concepto de energía, con las características dadas a esta y el modelo (o metáfora) que ha servido de base para el curso. Indique cómo el modelo (o metáfora) incluye las características asignadas al dicho concepto.

2) (50 puntos) Describa la secuencia del desarrollo conceptual de la termodinámica partiendo del principio de “La Conservación de la Energía” hasta la obtención de una ecuación de uso práctico de la “Energía Libre de Gibbs”.

El desarrollo conceptual deberá incluir mínimamente los siguientes aspectos:

- Estar alineado con el desarrollado del curso de Termodinámica Metalúrgica (MET 137), segundo semestre del 2016.
- Incluir ejemplos prácticos relacionados con la metalurgia, tales como reacciones químicas en procesos metalúrgicos, diagramas de fases de sistemas metálicos u óxidos, procesos de producción de cobre usando un horno *flash*, etc. Los ejemplos prácticos deberán incluir claramente el *objetivo de la termodinámica* y la forma de resolverlos.
- El desarrollo conceptual deberá indicar de forma precisa cuáles son los parámetros susceptibles de medir experimentalmente el equilibrio y dar ejemplos de cuáles se pueden calcular a partir de las mediciones.
- Emplear en su respuesta los siguientes conceptos o definiciones. El significado termodinámico de las definiciones o conceptos empleados deberán estar claramente explicados durante el desarrollo de la secuencia conceptual.
 - Calor
 - Calor específico a presión constante
 - Conservación de energía
 - Definición cuantitativa de calor
 - Definición de la energía libre de Gibbs

- Definición de la ecuación de entalpía
- Equilibrio termodinámico
- Equilibrio térmico
- Equilibrio mecánico
- Equilibrio químico
- Energía interna
- Medición de cambio de energía interna
- Ecuación de entropía
- Parámetros termodinámicos extensivos
- Parámetros termodinámicos intensivos
- Potencial químico
- Postulado de maximización de la entropía
- Postulado de la minimización de la energía interna
- Presión
- Propiedades matemáticas de la función de entropía
- Sistema termodinámico simple
- Sistema termodinámico compuesto
- Sistema termodinámico cerrado
- Sistema diatermal
- Sistema adiabático
- Transferencia de calor
- Temperatura

1) (10 puntos) Teniendo en cuenta el desarrollo anterior, describir claramente el “Objetivo de la Termodinámica” y su aplicación en la metalurgia.

2) (10 puntos) Describa la función de energía libre de Gibbs para una mezcla de gases ideales. Explique el significado de la función y cómo se asocia al potencial químico de cada uno de los componentes del gas.

3) (10 puntos) Usando la derivada total de la función de entropía (o de energía interna), desarrolle cómo en el equilibrio la definición de *temperatura*, *presión* y *potencial químico* concuerdan con las características a nivel sensoriales que percibimos de estos parámetros. Efectúe el análisis solo para una de estas definiciones.

4) (10 puntos) Explique de forma breve cómo obtener experimentalmente el calor específico de una sustancia.

Tabla 8. Rúbrica de evaluación para el numeral 2. La naturaleza conceptual de este certamen requirió elaborar una rúbrica especial

Aspectos	> 85	55-85	> 54
1) Mapa conceptual (30 puntos)	Mapa conceptual completo partiendo del principio de “la conservación de la energía” hasta una ecuación de energía libre de Gibbs. La secuencia es lógica y claramente explicada.	La secuencia es clara pero le faltan elementos.	La secuencia no es clara y contiene muy pocos elementos.
2) Descripción del objetivo de la termodinámica (10 puntos)	Descripción clara del objetivo de la termodinámica de acuerdo con lo discutido en clase y con el libro de Callen.	La descripción es incompleta.	No fue incluida.
3) Ejemplos prácticos relacionados a la metalurgia (20 puntos)	Ejemplos claros de procesos metalúrgicos, diagramas de fases, procesos de producción de cobre.	Ejemplos imprecisos. Solo uno o dos ejemplos.	No incluye ejemplos.

		Ejemplos no conectados con la discusión en curso.	
4) Descripción matemática de “energía libre de Gibbs” (10 puntos)	Formulación completa de una ecuación de energía libre de Gibbs.	Formulación incompleta de una ecuación de energía libre de Gibbs.	No incluye una ecuación de energía libre de Gibbs.
5) Definición de los conceptos (30 puntos)	Incluye la mayoría de los conceptos incluidos en la lista. Conceptos precisos y claramente definidos.	Incluye algunos conceptos o los conceptos no están claramente definidos.	Incluye solo algunos conceptos o no fueron claramente definidos.

Fuente: Elaboración propia