

## **“DESAPRENDER CONCEPTOS ALTERNOS DE LA TERMODINÁMICA A TRAVÉS DE METÁFORAS Y METODOLOGÍAS ACTIVAS PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL METALÚRGICA USM”.**

Hector Henao, Universidad Técnica Federico Santa María, [hector.henao@usm.cl](mailto:hector.henao@usm.cl)

David Jofré, [davojofre@gmail.com](mailto:davojofre@gmail.com)

Alejandra Chávez, Universidad Técnica Federico Santa María, [alejandra.chavez@usm.cl](mailto:alejandra.chavez@usm.cl)

Brayan Díaz, Universidad Técnica Federico Santa María, [brayan.diaz@usm.cl](mailto:brayan.diaz@usm.cl)

### **RESUMEN.**

Se describen el diseño de un curso de “Termodinámica Metalúrgica” del plan de estudios de la carrera de “Ingeniería Civil Metalúrgica y de Materiales” en la USM. La propuesta de innovación se basó en desaprender conceptos alternos incentivando conflictos cognitivos con el uso “metáforas”. Se partió de un modelo epistemológico el cual considera el aprendizaje como un proceso de cambio conceptual. Para la implementación del modelo, se optó por la representación de la termodinámica desde una formulación axiomática. La dinámica de las sesiones pedagógicas incluye debates argumentados y conexión de los conceptos con la metáfora seleccionada para describir “Energía”. Los conceptos son reforzados a un nivel de interacción microscópica de la materia a través de simulación dinámica. Finalmente, el concepto es aplicado al ámbito de la metalurgia. Para el análisis de las evidencias de desempeño, se utilizan las respuestas de los estudiantes a preguntas relacionadas a conceptos básicos (por ejemplo que es calor). Se clasificaron las respuestas de acuerdo a las metáfora por ellos empleadas antes, durante y después de la intervención pedagógica.

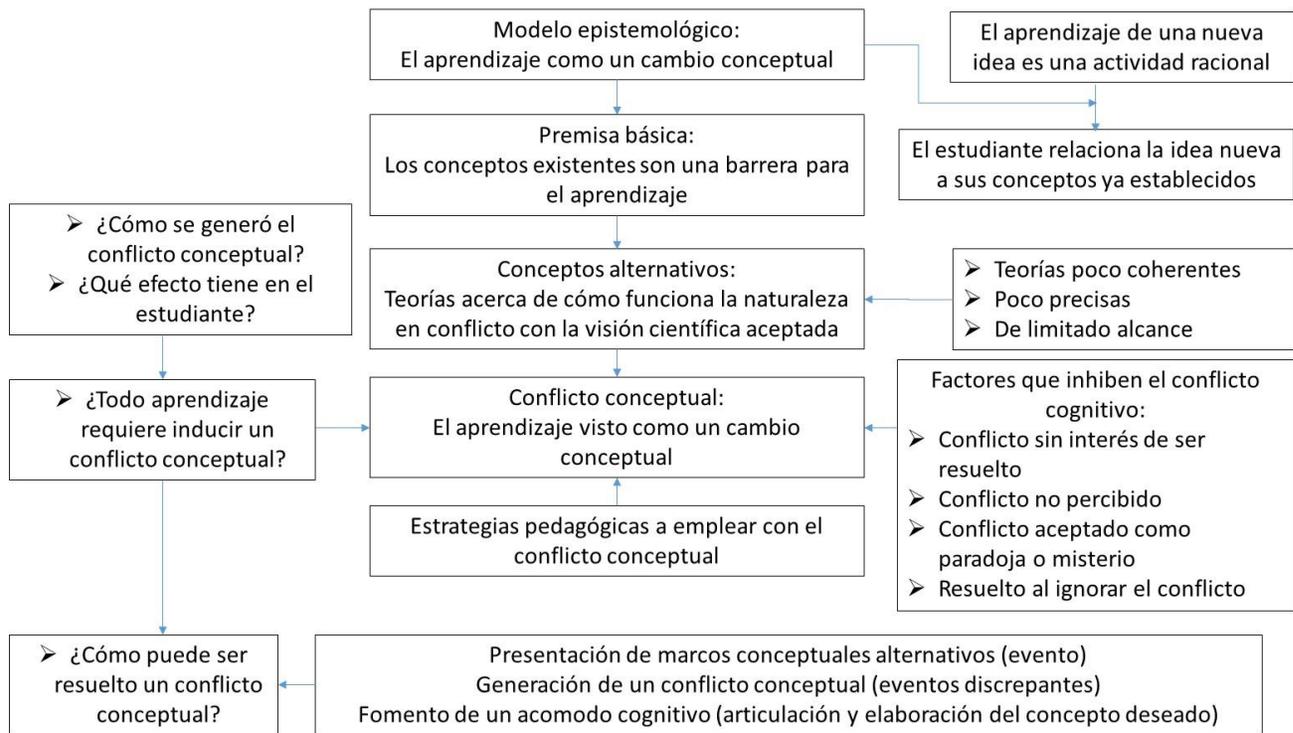
Palabras claves: “Conceptos Alternos”, “Metáforas”, “Metodologías Activas”, “Termodinámica”

### **INTRODUCCIÓN.**

De acuerdo a una revisión detallada de la literatura relacionada a las dificultades en la enseñanza/aprendizaje de los conceptos de la Termodinámica, surgió la siguiente hipótesis:

*“Conceptos previamente contruidos por los estudiantes erróneamente integrados se convierten en barreras para lograr el aprendizaje de la termodinámica. Basado en esta premisa es posible desarrollar una metodología de enseñanza fundada en la generación de conflictos cognitivos-conceptuales a partir de “metáforas”. Se postula que el conflicto se resuelve al ayudarle al estudiante a construir la metáfora adecuada (aceptada por la comunidad científica) para los conceptos termodinámicos”.*

La premisa básica es la existencia de barreras conceptuales. Esta premisa está basada en el modelo epistemológico indicado en el diagrama de la Figura 1, en este se considera el aprendizaje como un cambio conceptual, en el cual por medio de la generación de un conflicto cognitivo en el estudiante se fomenta un reacomodo del concepto acorde con aquellos que son aceptados por la comunidad científica. El conflicto se resuelve en el estudiante al construir la metáfora adecuada para los conceptos termodinámicos aplicables a la ingeniería.



**Figura 1. Base conceptual de la propuesta**

Las motivaciones para realizar la innovación educativa es la implementación de estrategias pedagógicas que permitan el desaprender conceptos de la termodinámica que han sido erróneamente integrados. Estos conceptos fueron construidos por los estudiantes, a través de aprendizajes sociales, y de la interpretación de los a las metáforas explicativas de los fenómenos físicos. Estas interpretaciones usualmente no concuerdan con aquellas validadas por la comunidad científica, lo que en este proyecto, se denomina “Conceptos Alternos”[1, 2]. Otra de las motivaciones es la búsqueda de coherencia desde la acción pedagógica en aula con el Modelo Educativo de la USM (aprobado por el Consejo Académico, en su sesión Ordinaria N° 351 del 21 de diciembre de 2015 [<http://www.dea.usm.cl/wp-content/uploads/2016/05/Modelo-Educativo-USM.pdf>] , según Acuerdo N° 803; y promulgado por Decreto de Rectoría N°115/2016) que declara en su marco contextual que “*los constantes cambios y transformaciones de la sociedad actual desafían a las instituciones de Educación Superior a formar líderes integrales, profesionales y graduados competentes, a través de una propuesta educativa de excelencia que prepare a sus egresados para el ámbito Humano, Científico Técnico y Profesional. Lo que se logra desarrollando aprendizajes desde la experiencia de los estudiantes, que le permitan reflexionar y tener conciencia crítica frente a sus acciones y decisiones*”. En este contexto, los aspectos de la innovación educativa, se basan en la utilización de “metáforas y metodologías activas” que a través del trabajo colaborativo y el debate argumentado, favorezcan el aprendizaje significativo de conceptos de la termodinámica en los estudiantes.

Nuestro modelo educativo en su apartado de “Proceso de Enseñanza-Aprendizaje” nos indica que el Modelo constructivista [3], que orienta el proceso de formación profesional en la USM, declara la prevalencia de procesos activos en la construcción del conocimiento, entendiendo al aprendiz como el protagonista de éste. Es una construcción propia, que se produce a diario como resultado de la interacción tanto de factores o aspectos cognitivos y sociales del comportamiento.

Este proceso de construcción conceptual depende de los conocimientos previos que se tenga sobre la nueva información, actividad o tarea a resolver, y de la actividad externa o interna -situación de aprendizaje- que el estudiante realice al respecto. En efecto, las ideas claves en torno a este modelo reconocen lo siguiente:

- “El estudiante es el protagonista y responsable de su proceso de aprendizaje. Es él quien construye o reconstruye los saberes, siendo un sujeto activo cuando explora, descubre, opera o inventa. Este aprendizaje se construye en el plano personal desde el momento que se acerca, progresiva y comprensivamente, a lo que significan y representan los contenidos curriculares como saberes”.
- “La revalorización del rol docente, no solo en sus funciones de guía o facilitador del aprendizaje, sino como mediador del mismo, enfatizando el papel de la ayuda pedagógica que presta reguladamente al estudiante. Su función principal es conectar los procesos de construcción del conocimiento de cada estudiante con el saber colectivo culturalmente organizado. El rol docente no se restringe a la creación de las condiciones óptimas para que el alumno despliegue una actividad mental constructiva, sino que debe orientar y guiar, explícitamente y deliberadamente dicha actividad”.

En relación al Modelo Educativo y lo que plantea Ausubel[4], “la característica más importante del aprendizaje significativo es que, produce una interacción entre los conocimientos más relevantes de la estructura cognitiva y las nuevas informaciones (no es una simple asociación), de tal modo que éstas adquieren un significado y son integradas a la estructura cognitiva de manera no arbitraria y sustancial, favoreciendo la diferenciación, evolución y estabilidad de los conceptos pre existentes y consecuentemente de toda la estructura cognitiva”.

Teniendo en consideración lo planteado y a fin de favorecer el aprendizaje permanente -en el que es indispensable la reflexión crítica-[5, 6], que contribuya a la construcción del nuevo conocimiento a través de la actividad individual y social. Para satisfacer estas necesidades la educación en ingeniería debe cambiar, los estudiantes requieren versatilidad, capacidad de aprender de forma autónoma y trabajo en equipo.

### CONCEPTUALIZACIÓN DE LA TERMODINÁMICA EN LA ASIGNATURA

Se optó por la vía de conceptualizar la termodinámica desde una formulación axiomática, en contraste con la forma tradicional que trata los principios termodinámicos como leyes [7]. Con esto se busca llegar de una forma lógica y secuencial al concepto de la Energía Libre de Gibbs y sus aplicaciones en la metalurgia, a través de la utilización de metáforas, metodologías activas como debate argumentado y trabajo colaborativo. Se busca que el estudiante reconstruya los conceptos de la termodinámica a partir de las definiciones de Energía Interna de un sistema considerando, cuatro postulados básicos: 1) equilibrio: 2) función de entropía 3) atributos matemáticos de la función de entropía y 4) comportamiento de la función de entropía a condiciones límites. Se aspira que el estudiante, relacione estos cuatro conceptos con fenómenos naturales de su entorno y específicamente con procesos del área de la Metalurgia. Se espera que el estudiante, utilice las “**Metáforas**” para analizar sus procesos meta-cognitivos, es decir, saber cómo está aprendiendo, a través de la selección de aquellas “metáforas” que contribuyan en mejor medida a comprender los conceptos termodinámicos [8, 9]. Esto favorece el desarrollo del aprendizaje significativo y aprendizaje profundo en los estudiantes, sobre la construcción de conocimiento de los conceptos de Termodinámica.

### EL CONTEXTO

En la declaración del perfil del Ingeniero Civil Metalúrgico, lo cualifica como especialista en la transformación de minerales en materiales para la vida cotidiana. La escasez creciente de

minerales, energía y agua plantea grandes problemas de innovación a la industria minera para proveer de materiales reciclables a bajos precios en condiciones laborales de calidad y sin dañar el medio ambiente.

El departamento académico donde se encuentra inserta la carrera de Ingeniería Civil Metalúrgica (ICM) es el Departamento de Metalúrgica y de Materiales. La carrera de Ingeniería Civil Metalúrgica, actualmente tiene 319 de estudiantes matriculados.

El ambiente de aprendizaje dentro del salón de clases, corresponde a una distribución circular o distribución por grupos más pequeños, facilitando la discusión participativa en salas especialmente utilizadas para el aprendizaje activo (ACE-Scale up).

Los estudiantes que asisten a la asignatura de Termodinámica son 30 anualmente, la que se dicta en semestre impar.

La asignatura de Termodinámica se dicta en el quinto semestre de la carrera de Ingeniería Civil Metalúrgica, siendo los prerrequisitos de esta las Físicas, las químicas y matemáticas básicas.

### **Procesos de Evaluación:**

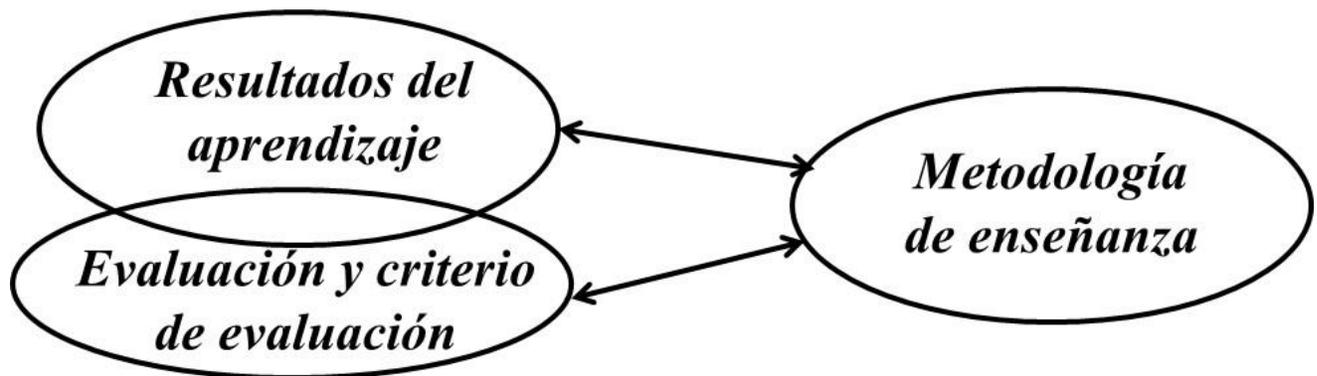
El proceso de evaluación considera el monitoreo de la ruta de aprendizaje del estudiante, potenciando el desarrollo de competencias conceptuales, procedimentales y actitudinales, basándose en la Taxonomía de Bloom.

#### **Evaluación Diagnóstica:**

Aplicación de Test de diagnóstico de conceptos de Termodinámica: Se realiza discusión de los conceptos de termodinámica para levantar y evidenciar las aproximaciones conceptuales que traen consigo los estudiantes a través de la técnica Tydes (o Flipped)[10, 11].

#### **Evaluación Formativa:**

- Tutoriales (7) con entregas regulares (el desarrollo de cada tutorial con una sesión de ayudantía) durante el semestre. Tabla SCT-Chile.
- Trabajos de aplicación (2) práctica de la termodinámica y el análisis de un documento relacionado a la obtención de información termodinámica experimental.
- Elaboración de mapa conceptual sobre los conceptos de termodinámica.
- Trabajos de aplicación práctica son seleccionados por el estudiante de acuerdo a sus preferencias y después de una entrevista con el instructor.
- Para el diseño de esta evaluación se buscó consistencia entre los tres componentes del diseño curricular según Biggs como se indica en el esquema II:



**Figura 3: Interacción entre los tres componentes principales del diseño de un curso según Biggs[12]**

El principio fundamental es lograr que los tres componentes están diseñados para responder a las siguientes tres preguntas:

- ¿Qué desea que su estudiante aprenda? (resultados de aprendizaje)
- ¿Qué métodos de enseñanza se utilizarán para lograr dichos resultados de aprendizaje? (Metodología de enseñanza)
- ¿Qué evaluaciones y que criterios de evaluación utilizará para mostrar que los estudiantes han logrado los resultados de aprendizaje (evaluación y criterio de evaluación)

### **Evaluación Sumativa:**

Dos Certámenes de Aplicación: Consiste en resolver problemas prácticos asociados a la industria metalurgia.

### **RESULTADOS DE APRENDIZAJE QUE SE ESPERAN LOGRAR EN ESTA ASIGNATURA, ASOCIADOS A LOS CONTENIDOS TEMÁTICOS.**

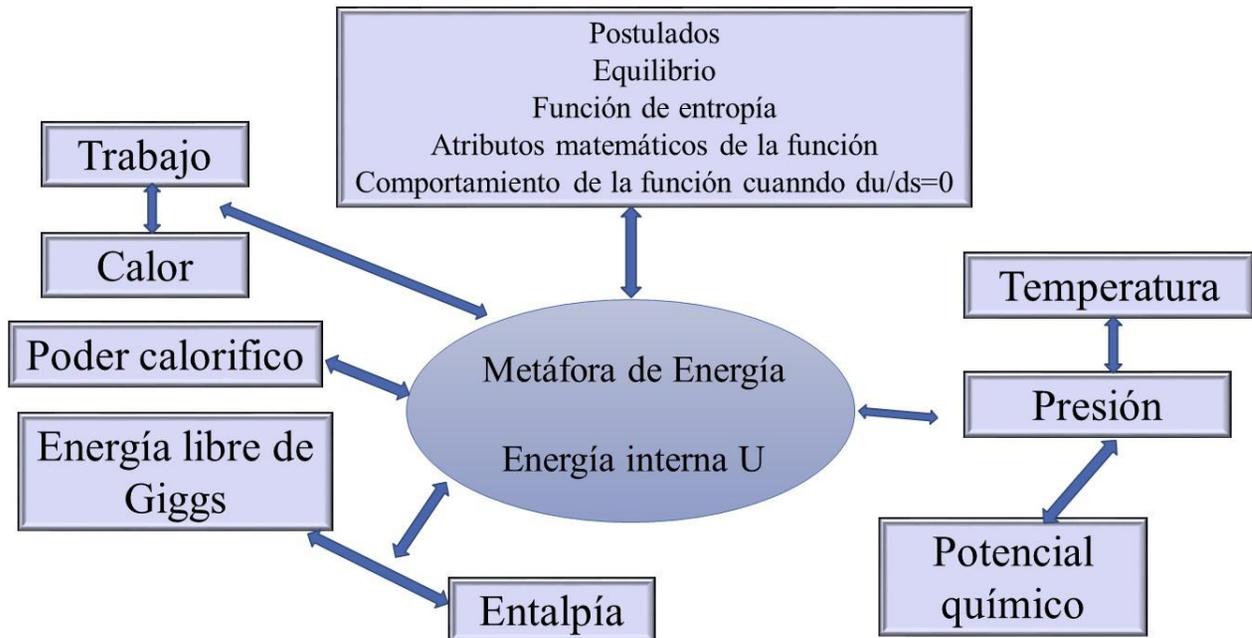
- El estudiante reconstruye los conceptos de la termodinámica a partir de las definiciones de energía interna de un sistema considerando los cuatro postulados básicos: equilibrio, función de entropía, atributos matemáticos de la función de entropía y el comportamiento de la función de entropía a condiciones límites, **relacionándolos** con fenómenos naturales de su entorno y específicamente con procesos del área de la metalurgia. (Contenidos 1 y 2)

El esquema indicado en la Figura 4 indica como los conceptos de la termodinámica se relacionan al de energía.

- Aplica los conceptos matriciales de la Termodinámica, utilizando el debate argumentando. (Contenidos 1 y 2)
- Utiliza el concepto de “Metáforas” para analizar sus procesos meta-cognitivos, seleccionando desde conceptos alternos dados, aquellas metáforas que contribuyan en mejor medida a comprender los conceptos termodinámicos. (Contenidos 1 y 2) [13, 14, 15]
- Elabora operacionalmente los conceptos de temperatura, presión, potencial químico, asociándolos a parámetros susceptibles de ser medidos físicamente. (Contenidos 3 y 4)
- Identifica el Potencial Químico como una variable de medición similar a la temperatura y la presión,

aplicando herramientas de simulación dinámica. (Contenidos 5)

- Mide variables de temperatura, presión, potencial químico, aplicando herramientas de simulación dinámica y equipamiento didáctico de medición. (Contenidos 6 ) [16].
- Construye y aplica las funciones de Entalpía, Entropía y Energía Libre de Gibbs que permitan representarlas en función de parámetros susceptibles de ser medidos físicamente (temperatura, presión y potencial químico), utilizando herramientas del cálculo diferencial de multivariables. (Contenidos 7 ) [17].
- Modela el comportamiento de soluciones de gases, líquidos y sólidos, aplicando la función de Energía Libre de Gibbs. (Contenidos 8)



**Figura 4. Conceptos de la termodinámica se relacionan a la energía**

- Aplica los conceptos de la termodinámica y sus procesos de desarrollo científico y tecnológico en la producción y reciclaje de metales y la elaboración de materiales, utilizando los conceptos integrados de la Termodinámica. (Contenidos 9, 10, 11 y 12) [18]

**Los contenidos temáticos son los siguientes:**

1. Discusión de los "Conceptos Alternos" en termodinámica
2. Definición de un modelo de Energía Interna de un sistema y discusión de las metáforas en la Termodinámica.
3. Revisión del objetivo de la termodinámica.
4. Introducción a los postulados básicos de la termodinámica: a)-Equilibrio, b)-función de entropía, c)- atributos matemáticos de la función de entropía, d)-el comportamiento de la función de entropía a condiciones límites.
5. Uso del cálculo diferencial para definir Temperatura, Presión y Potencial Químico. Asociación de estas definiciones con los conceptos intuitivos en la experiencia cotidiana que tenemos de estos.
6. Introducción a las transformadas de Legendre y determinación de las funciones de Entalpía y Energía Libre de Gigg en función de temperatura, presión y potencial químico. Aplicación de los conceptos de Capacidad Calórica y Entalpía en el balance de masas y energía en un proceso de producción de metales.
7. Aplicación del concepto de Energía Libre de Gibbs en soluciones de gases, líquidos y sólidos
8. Introducción al concepto de actividad química
9. Simulación de diagramas de fases usando el concepto de minimización de Energía Libre de Gibbs.
10. Aplicación del concepto de actividad en reacciones químicas en procesos pirometalúrgicos e hidrometalúrgicos

11. Aplicación de los conceptos en las áreas de pirometalurgia e hidrometalurgia para la producción de metales y materiales de aleaciones metálicas.

### **Cambios conceptuales, actitudinales después de la intervención:**

Los cambios visualizados en lo conceptual, se extraen desde el análisis de respuesta a las preguntas iniciales, evaluadas a través del test de diagnóstico (conceptos de la termodinámica, Test Chac, Test de metacognición).

A nivel actitudinal: trabajo en equipo, conocimiento por parte del estudiante de su proceso metacognitivo.

### **Cambios en las respuestas de los tutoriales: se comparan las preguntas iniciales y tutoriales**

- Encuesta de satisfacción del estudiante de la asignatura y del profesor (manejo específico en el ramo).

La encuesta de satisfacción arrojó los siguientes resultados:

- ¿cómo el curso impactó en su aprendizaje, habilidades?.
- El valor de la Ingeniería y su relación con la termodinámica aplicada para futuros Ingenieros Civiles Metalúrgicos.

Un grupo de estudiantes fueron consultados por medio de una entrevista personal efectuada por una persona no relacionada con el curso y contratada para tal fin. Algunos de los resultados fueron los siguientes:

Los estudiantes entrevistados reconocieron haber adquirido gran parte de los resultados de aprendizaje, definidos en la asignatura. Por ejemplo un estudiante escribía. “Este curso me permitió renovar y reforzar conceptualmente los principios y términos a aplicar en materia de termodinámica y metalurgia, antes manejábamos solo formulas sin fundamentos teóricos aparejados ni mayor profundidad en su aplicación en la industria”. “Qué fue más fluida la interacción docente-alumnos, en trabajo colaborativo de actividades y lecturas de papers”.

Sobre habilidades adquiridas otro estudiante opinó que “las situaciones complejas de la termodinámica, bajo la metodología impartida en este curso, hacían aparecer como no tan complejo, comprensible y aplicable”. “A partir de estos aprendizajes es posible describir la termodinámica en todos los tipos de sistemas y aplicaciones”. “La aplicación de metodologías activas me permitió motivarme durante la asignatura, pudiendo planificar y cumplir con las entregas requeridas (Generar un portafolio de evidencias)”.

- Evaluación Docente Institucional del Curso:

En relación con lo anterior, al analizar las principales consideraciones de la Encuesta de Satisfacción Docente USM aplicada como en todas las asignaturas en la universidad, destaca el hecho de que se obtuvo en general como promedio un total de 6.3 pts de un puntaje máximo de 7.0 pts., relevando la experiencia formativa como destacada en cuanto al rol docente.

- Análisis de Resultados de Avance de Certámenes:

Evaluaciones tipo certamen. Para esto se elaboró una rúbrica específica. Al analizar en específico dichos certámenes, es dable destacar el modelo de diseño integrador que se aplicó en su estructura, de modo que los estudiantes debían tomar un listado de conceptos y aplicaciones de la termodinámica para la metalurgia, y trabajarlos en tres niveles: realizando un mapa conceptual y describir y explicar, realizar la descripción matemática aplicada del concepto generador utilizado, y finalmente, también describir, analizar y aplicar dichos conceptos generadores a una

situación concreta de aplicación en la industria metalúrgica. Los estudiantes aprobaron adecuadamente dichos certámenes y la asignatura promedio 82 pts finales (de un total de 100 pts.).

## EL APRENDIZAJE

Se diseñan e implementan las unidades didácticas de la asignatura de “Termodinámica para Metalurgia” bajo un enfoque de aprendizaje activo, a través del debate argumentado y trabajo colaborativo, que potencian el aprendizaje reflexivo, a partir de actividades de aprendizaje basadas en la utilización de conceptos alternos desde un enfoque axiomático de la termodinámica, permitiendo disipar pre-conceptos y afianzar conceptos termodinámicos con aprendizajes significativos de aplicación y procesamiento matemático de lo conceptual a la base de los principios estudiados. Las clases fueron diseñadas de acuerdo al esquema indicado en la Figura 5 con el objetivo de crear un conflicto cognitivo y la asimilación de conceptos indicados en la Figura 6.

La clase inicia con una pregunta relacionada al concepto, a la cual deberá responder el alumno en forma individual. La respuesta deberá ser soportada con un ejemplo. Las respuestas serán analizadas en forma inmediata por medio del uso de “Tyle o Flippis”. Se procederá a una discusión de los “Conceptos Alternativos” reportados en la literatura y una discusión en grupo en la cual los estudiantes analizarán la “metáfora” que emplearon al responder la pregunta. La metáfora podría ser evidente o podría requerir un esfuerzo analítico para descubrirse. En esta etapa los estudiantes trabajarán con los ayudantes del curso (serán asignados tres ayudantes) y con el profesor guía. La introducción a concepto aceptado por la comunidad científica será presentado por medio de un video (el cual hace parte de un MOOC diseñado para el curso actualmente en elaboración). Se presenta además la metáfora más adecuada en conexión con una metáfora general para el concepto de energía (esta metáfora de energía se discute al inicio del curso como lo indica la Figura 4. Para conectar el concepto con la definición de energía a nivel microscópico, se hará uso del programa de simulación dinámica Gaussian, adquirido en la etapa I del presente proyecto. La clase finaliza con una discusión acerca de la aplicación del concepto en el área de la metalúrgica.

La implementación requiere de una planificación rigurosa que implica un trabajo de diseño instruccional relevante. Resultados preliminares mostraron que esta iniciativa contribuye a contextualizar contenidos vistos en asignaturas tradicionales y favorecen la adquisición habilidades y competencias de resolución de problemas relacionados a la termodinámica en los procesos industriales y utilizar las herramientas de la termodinámica para contribuir a la optimización de los procesos industriales, declaradas en el perfil de egreso. El análisis de datos arroja una alta efectividad de esta metodología empleada para la generación de aprendizajes significativos en los estudiantes participantes, asumida en el curso de termodinámica 1.

La motivación del académico se relaciona con el alineamiento al Nuevo Modelo Educativo Institucional USM, la importancia de las experiencias de facilitación y aprendizaje activo en ingeniería y el desarrollo de competencias transversales de formación del estudiante relacionadas con el análisis crítico y la capacidad de asimilar y aplicar conceptos matriciales de la termodinámica haciendo abstracción de los conceptos y aplicándolos en disyuntiva acerca de conceptos “metafóricos” o “alternos” inexactos y no compartidos por la comunidad científica actual – haciendo relevar la capacidad de representar y aplicar adecuadamente dichos conceptos.

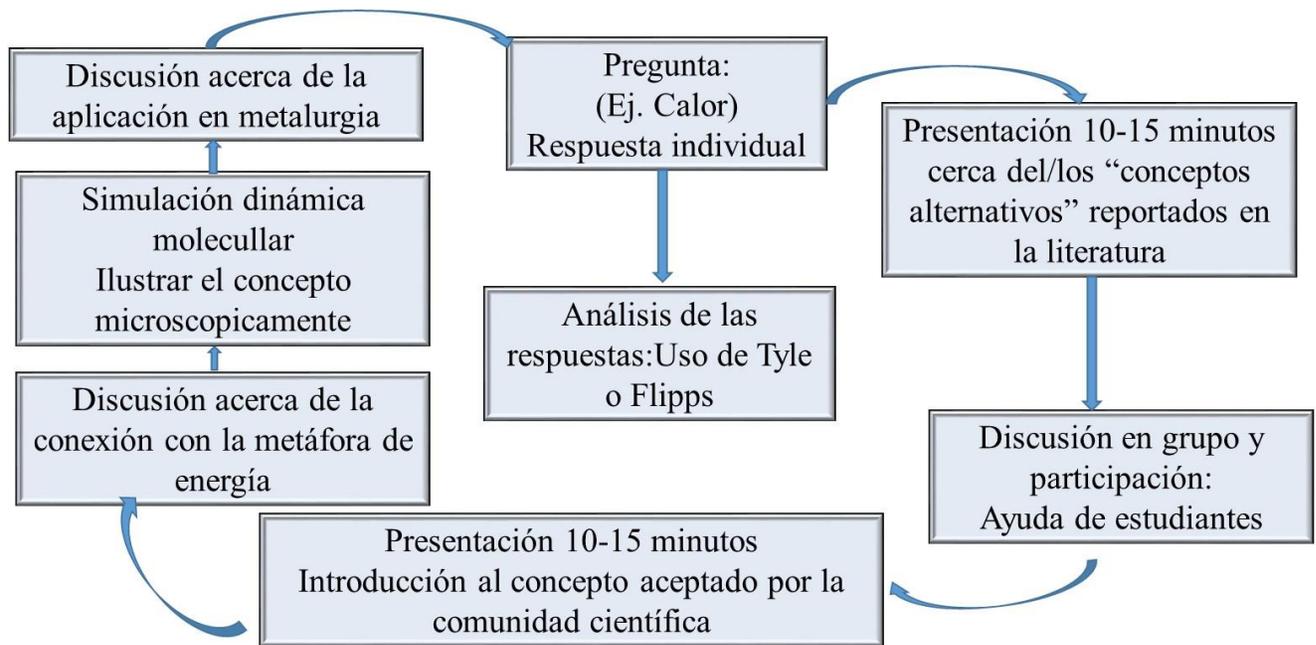


Figura 5: Diseño de las actividades de una sesión del curso

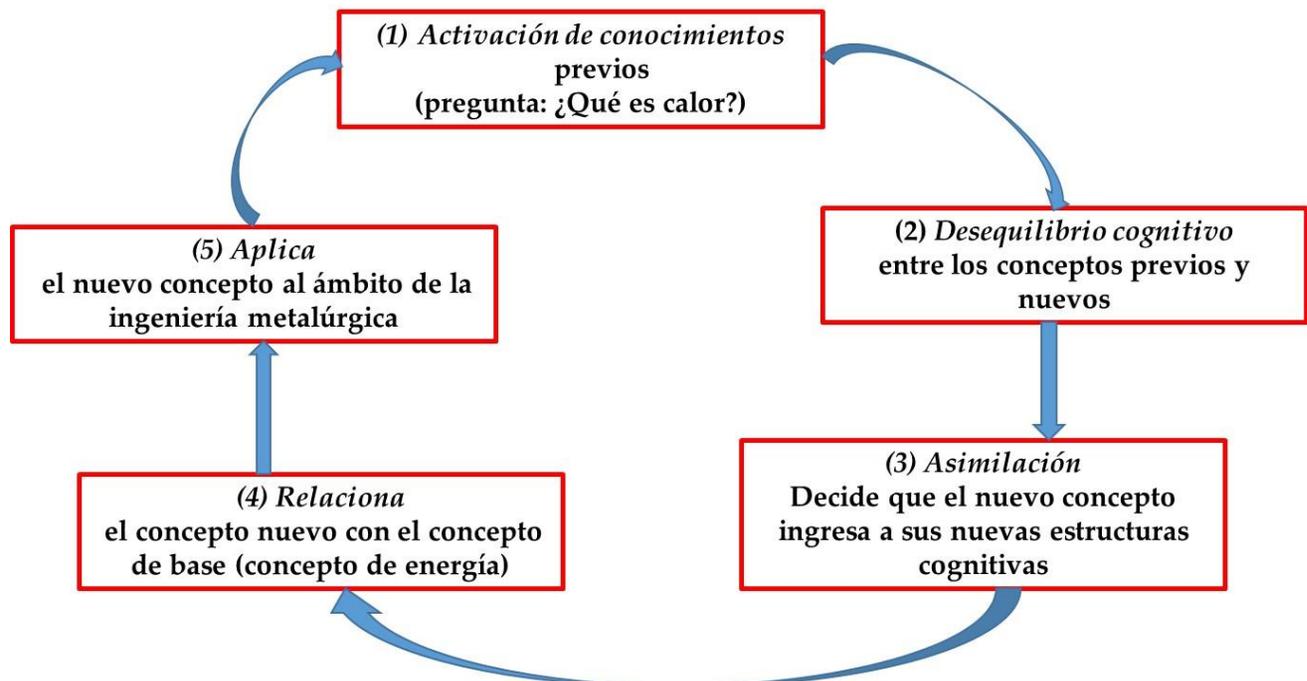


Figura 6. Conflicto cognitivo y asimilación de conceptos.

Ha resultado motivante el que los resultados positivos preliminares obtenidos como hallazgos en la experiencia de aprendizaje de los alumnos, que favorecen la adopción de estas innovaciones metodológicas por su eficacia. Ello con vistas a potenciar la estrategia para aplicar dicha mirada en la dictación de cursos más numerosos, considerando el trabajo personal y grupal, el aprendizaje entre pares y el trabajo colaborativo en equipos.

Se pretende poner en perspectiva dichos avances, desde la publicación preliminar de resultados en XXIX Congreso SOCHEDI 2016 Pucón UFRO, en que fue recibido para su exposición el documento que describe los principales resultados obtenidos hasta ahora. Surgen inquietudes y nuevas preguntas vinculadas a la efectividad del enfoque, método, innovación educativa, particularmente en dos líneas: la masificación de la experiencia, los procesos de preparación y diseño instruccional y didáctico de cada sesión y la posibilidad de incorporar aún más actividades de aprendizaje activo – pudiendo evaluar científicamente los impactos obtenidos en una serie de dictaciones anuales de la asignatura, indagando la pertinencia y profundidad de los factores favorecedores del aprendizaje significativo en las y los estudiantes.

## REFERENCIAS

1. A review of research on the teaching and Learning of thermodynamics at the university level. Kinsey Bain - Department of Chemistry, Purdue University, West Lafayette, IN, USA. Chem. Educ. Res. Pract., 2014,15, 320-335
2. Misconceptions Reconceived: A Constructivist Analysis of Knowledge in Transition. John P. Smith, Andrea A. diSessa and Jeremy Roschelle. Graduate School of Education - University of California, Berkeley. THE JOURNAL OF THE LEARNING SCIENCES, 1993,3(2), 115-163.
3. Back to Basics: A Philosophical Critique of Constructivism. GÜROL IRZİK. Philosophy Department, Bogaziçi University, 80815, Bebek, Istanbul, Turkey. Science & Education 9: 621–639, 2000.
4. Ausubel:1983
5. THE ROLE OF CONCEPTUAL CONFLICT IN CONCEPTUAL CHANGE AND THE DESIGN OF SCIENCE INSTRUCTION. Peter Hewson and Mariana Beckett. Division of Applied Psychology, Department of Physics, University of the Witwatersrand, Johannesburg, South Africa. Instructional Science Vol. 13, No. 1 (MAY 1984), pp. 1-13
6. Fredrik Jeppsson , Jesper Haglund , Tamer G. Amin & Helge Strömdahl (2013) Exploring the Use of Conceptual Metaphors in Solving Problems on Entropy, Journal of the Learning Sciences, 22:1, 70-120
7. H.Callen (1985): "Thermodynamics and an introduction to thermostatics, second edition", John Wiley & Sons.
8. Heat Energy and Temperature Concepts of Adolescents, Adults, and Experts: Implications for Curricular Improvements. Eillen Lewis and Marcia Linn – Graduate School of Education, University of California, Berkeley, USA. JOURNAL OF RESEARCH IN SCIENCE TEACHING VOL. 31, NO. 6, PP. 657-677 (2003)

9. Metaphorical Construals of Entropy and the Second Law of Thermodynamics. Tamer Amin – Department of Education, Lebanese American University, Beirut, Lebanon. Science Education - 2012, Agosto.
10. Design, Implementation, and Evaluation of a Flipped Format General Chemistry Course. Gabriela Weaver and Hannah Sturtevant - Department of Chemistry and Institute for Teaching Excellence and Faculty Development, University of Massachusetts, Amherst, Massachusetts, USA. Journal of Chemical Education 2015, 92, 1437–1448
11. Farewell, Lecture?. Eric Mazur. Department of Physics, Harvard University, Cambridge, USA. Science, 323, 50-51
12. Education for higher level capabilities. Beyond alignment, to integration? John Cowan, Education and learning processes
13. Student Understanding of Liquid–Vapor Phase Equilibrium. Andrew Boudreaux and Craig Campbell – Department of Physics and Astronomy, Western Washington University, Bellingham, Washington, USA. Journal of Chemical Education 2012, 89, 707–714
14. Undergraduate students' conceptions of enthalpy, enthalpy change and related concepts. Tor Nilsson and Hans Niederer – School of Education, Culture and Communication, Malardalen University, Eskilstuna, Sweden. Chemistry Education Research and Practice 2013, Abril.
15. Developmental Growth in Students' Concept of Energy: Analysis of Selected Items from the TIMSS Database. Xiufeng Liu and Anne McKeough. Division of Applied Psychology, University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada. JOURNAL OF RESEARCH IN SCIENCE TEACHING VOL. 42, NO. 5, PP. 493–517 (2005)
16. Integrating Computational Chemistry into a Course in Classical Thermodynamics, Sheridan R. Martini and Cynthia J. Hartzell. Department of Chemistry and Biochemistry, Northern Arizona University, Flagstaff, Arizona, USA. J. Chem. Educ. 2015, 92, 1201–1203
17. 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.
18. ENGINEERING EDUCATION – IS PROBLEM BASED OR PROJECT-BASED LEARNING THE ANSWER?. Julie E. Mills and David F. Treagust. School of Geoscience, Minerals & Civil Engineering. University of South Australia, Adelaide, South Australia, Australia. Australasian J. of Engng. Educ., online publication 2003-04.