

# Experiencias de la enseñanza y el aprendizaje de la termodinámica, a través de la presencialidad mediada por tecnología

Margy Nathalia Rojas-Palacios<sup>1</sup>

Corporación Universitaria Minuto de Dios - Uniminuto

[mrojaspalac@uniminuto.edu.co](mailto:mrojaspalac@uniminuto.edu.co)

Johan Andrés Arias-Cadavid<sup>2</sup>

Corporación Universitaria Minuto de Dios - Uniminuto

[jariascadav@uniminuto.edu.co](mailto:jariascadav@uniminuto.edu.co)

Reinel Andrés Murillo-Agudelo<sup>3</sup>

Corporación Universitaria Minuto de Dios - Uniminuto

[rmurilloagu@uniminuto.edu.co](mailto:rmurilloagu@uniminuto.edu.co)

José Daniel Ballén-Briceño<sup>4</sup>

Corporación Universitaria Minuto de Dios - Uniminuto

[jballenbric@uniminuto.edu.co](mailto:jballenbric@uniminuto.edu.co)

**DOI:** <https://doi.org/10.21158/2357514x.v9.n1.2021.3019>

Cómo citar este artículo: Rojas-Palacios, M. N.; Arias-Cadavid, J. A.; Murillo-Agudelo, R. A.; Ballén-Briceño, J. D. (2021). Experiencias de la enseñanza y el aprendizaje de la termodinámica a través de la presencialidad mediada por tecnología. *Revista Virtu@lmente*, 9(1), Páginas. DOI: <https://doi.org/10.21158/2357514x.v9.n1.2021.3019>

Fecha de recepción: 05 de octubre de 2020

Fecha de aprobación: 08 de julio de 2021

<sup>1</sup> Estudiante del programada de Ingeniería Industrial - Corporación Universitaria Minuto de Dios - Uniminuto. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6039-3967>

<sup>2</sup> Estudiante del programada de Ingeniería Industrial - Corporación Universitaria Minuto de Dios - Uniminuto. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8513-8361>

<sup>3</sup> Estudiante del programada de Ingeniería Industrial - Corporación Universitaria Minuto de Dios - Uniminuto. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6158-4474>

<sup>4</sup> Ingeniero mecánico – Iniversida del Valle. Especialista en administración financiera - Universidad Ean. Magister en administración de empresas - MBA - Universidad Ean. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4393-3113>

## Resumen

*El aprendizaje y la enseñanza de la termodinámica es una de las competencias esenciales para la educación en ingeniería industrial. Tradicionalmente, el curso de termodinámica se desarrolla a través de clases magistrales y se evalúa mediante exámenes escritos que incluyen complejas abstracciones. Debido a la emergencia sanitaria por el COVID-19, el curso presencial de Termodinámica para Ingeniería Industrial del Centro Regional Buga de Uniminuto debió pasar a la metodología de presencialidad asistida por tecnología. En este artículo se presenta una estrategia metodológica dirigida a lograr una experiencia de aprendizaje significativa en el curso, a través del trabajo colaborativo de los estudiantes y el acompañamiento permanente del docente. Para el desarrollo del curso se establecieron dos proyectos. El primero busca relacionar los conocimientos adquiridos por los estudiantes con la realidad de la industria y en el segundo se realiza una aproximación a los más recientes avances de las ciencias térmicas, aprovechando los recursos disponibles de las bases de datos de la biblioteca institucional. Finalmente, se relacionan los resultados de la metodología de acuerdo con las principales experiencias de aprendizaje y enseñanza del curso, para evidenciar la necesidad en los currículos contemporáneos de ingeniería, entre la enseñanza rigurosa y correcta, de los principios de las ciencias y la creación de nuevo conocimiento a través del uso de las TIC.*

**Palabras clave:** enseñanza en ingeniería contemporánea; enseñanza de ciencias; aprendizaje de ciencias; presencialidad asistida por tecnología; experiencia de aula remota; aprendizaje significativo; tecnología para el aprendizaje; COVID-19.

\*\*\*\*\*

*Experiences of teaching and learning thermodynamics,  
through technology-mediated face-to-face attendance*

## Abstract

*Learning and teaching thermodynamics is one of the core competencies for industrial engineering education. Traditionally, the thermodynamics course is developed through lectures, and it is assessed through written exams that include complex abstractions. Because of the COVID-19 health emergency, the Thermodynamics classroom course for Industrial Engineering at the Buga Regional Center of Uniminuto had to switch to the technology-assisted classroom methodology. This article presents a methodological strategy aimed at achieving a significant learning experience in the course, by means of the collaborative work of the students and the permanent assistance of the teacher. For this purpose, two projects for the development of the course were established: the first one seeks to relate the knowledge gained by the students with the reality of the industry, and the second one builds an approximate picture of the most recent advances in thermal sciences, taking advantage of the resources that are available in the databases of the institutional library. Finally, the results of the methodology are listed according to the main learning and teaching experiences in the course, in order to demonstrate the need in contemporary engineering curricula for a connection between the rigorous and correct teaching of the principles of science, and the creation of new knowledge through the use of ICTs.*

**Keywords:** contemporary engineering education; science education; science learning; technology-assisted classroom; remote classroom experience; meaningful learning; technology for learning; COVID-19.

\*\*\*\*\*

*Experiências de ensino e aprendizagem da termodinâmica,  
por meio de experiências presenciais mediadas por tecnologia*

**Resumo**

O ensino e a aprendizagem da termodinâmica é uma das competências essenciais para o ensino de Engenharia Industrial. Tradicionalmente, o curso de Termodinâmica é desenvolvido por meio de aulas magistrais e é avaliado por exames escritos que incluem abstrações complexas. Devido à emergência sanitária decorrente da COVID-19, o curso presencial de Termodinâmica para Engenharia Industrial do Centro Regional de Buga da Uniminuto teve que passar para a metodologia presencial assistida por tecnologia. Este artigo apresenta uma estratégia metodológica que visa alcançar uma experiência de aprendizagem significativa no curso, por meio do trabalho colaborativo dos alunos e do acompanhamento permanente do professor. Para o desenvolvimento do curso, foram estabelecidos dois projetos. O primeiro busca relacionar os conhecimentos adquiridos pelos alunos com a realidade da indústria e o segundo se faz uma abordagem aos mais recentes avanços nas ciências térmicas, aproveitando os recursos disponíveis nas bases de dados da biblioteca institucional. Finalmente, os resultados da metodologia são relacionados de acordo com as principais experiências de ensino e aprendizagem do curso, para mostrar a necessidade nos currículos contemporâneos de engenharia, entre o ensino rigoroso e correto, dos princípios da ciência e a criação de novos conhecimentos através do uso das TIC.

**Palavras-chave:** ensino de engenharia contemporânea; ensino de ciencias; aprendizagem de ciencias; presença assistida por tecnologia; experiência em sala de aula remota; aprendizagem significativa; tecnologia de aprendizagem; COVID-19.

\*\*\*\*\*

*Expériences d'enseignement et d'apprentissage de la thermodynamique,  
au travers de la présencialité assistée ordinateur*

**Résumé**

L'apprentissage et l'enseignement de la thermodynamique est l'une des compétences essentielles de la formation en génie industriel. Le cours de thermodynamique est traditionnellement enseigné en cours magistral et évalué lors d'examens écrits d'abstractions complexes. En raison de l'urgence sanitaire causée par la COVID-19, le cours présentiel de thermodynamique industrielle du centre régional de Buga de l'université Uniminuto a dû évoluer vers une méthodologie présentielle assistée par ordinateur. Cet article présente une stratégie méthodologique visant à réaliser une expérience d'apprentissage significative au travers du travail collaboratif et de l'accompagnement permanent par l'enseignant. Deux projets ont été établis pour la mise en place du cours. Le premier cherche à mettre en relation les connaissances acquises par les étudiants avec la réalité des secteurs industriels ; le second rend compte des avancées récentes effectuées dans le domaine de la thermodynamique, s'inspirant des ressources disponibles sur les bases de données de la bibliothèque universitaire, utilisant les méthodologies des principales expériences d'apprentissage et d'enseignement pour démontrer la nécessité d'un enseignement rigoureux des programmes d'études et d'ingénierie contemporains, des principes scientifiques et de la création de nouvelles connaissances au travers de l'utilisation des TIC.

**Mots clés:** enseignement de l'ingénierie contemporaine ; enseignement des sciences ; apprentissage des sciences; cours présentiel assisté par ordinateur; expérience de classe en distanciel; apprentissage significatif; technologie d'apprentissage; COVID-19.

## 1. Introducción

Las bases científicas de la termodinámica para ingenieros están profundamente relacionadas con el uso del vapor industrial en el siglo XIX. La enseñanza de la termodinámica es importante dentro del proceso formativo de los ingenieros, por lo cual aún se encuentra vigente en los currículos de diferentes programas de pregrado.

A raíz de la contingencia generada por el COVID-19, el curso presencial de termodinámica del programa de Ingeniería Industrial de Uniminuto, Centro Regional Buga, se convierte a partir de su sexta semana en un curso presencial asistido por tecnología, de modo que los encuentros presenciales se realizan remotamente por medio de la herramienta Google Meet. El curso también se desarrolla con el apoyo del aula virtual Moodle de la institución universitaria y los recursos digitales para la investigación de la biblioteca institucional.

En el contexto de los estudiantes presenciales de Uniminuto, el uso de estas herramientas no es extraño, ya que los cursos transversales —Catedra Minuto de Dios, Proyecto de vida, Emprendimiento, etc.— se desarrollan completamente en modalidad virtual. Adicionalmente, todos los cursos presenciales tienen una cuenta en el Moodle institucional, el cual funciona como repositorio de la documentación del curso y la herramienta de comunicación entre el profesor y sus estudiantes.

Teniendo en cuenta este panorama, el objetivo principal de este artículo es mostrar los beneficios, así como los aprendizajes diferenciadores alcanzados por los estudiantes con el uso de las herramientas digitales para la investigación en el marco de una materia tradicional de ingeniería.

En primer lugar, se presenta una revisión teórica sobre la termodinámica, los procesos de enseñanza y aprendizaje en la ingeniería contemporánea, así como los efectos de incluir las TIC en sus procesos formativos. Posteriormente, se propone una metodología para el desarrollo del curso, a través de proyectos de clase, basados en el uso de herramientas digitales de la biblioteca institucional, así como de los recursos públicos del fabricante líder del mercado de equipos para vapor industrial.

En la sección de aplicación de la propuesta para el curso serán los mismos estudiantes quienes presenten su experiencia y hallazgos. Finalmente, los resultados se discuten con diferentes artículos y resultados de la enseñanza de la termodinámica y otras ciencias de la ingeniería.

## **2. Revisión teórica**

### **2.1 ¿Qué es la termodinámica?**

La termodinámica es la ciencia moderna del calor y el trabajo; su utilidad está centrada en la conversión de la potencia en movimiento —vida—. Los tres principios que se enseñan en la termodinámica son: la conservación de la energía —primera ley—, la irreversibilidad de los procesos —segunda ley—, así como la reciente ley constructal, el principio fundamental que subyace a la evolución de los sistemas finitos de flujo a medida que sus diseños cambian en el tiempo con el propósito de aumentar el acceso al flujo de energía (Bejan, 2018).

Esta ciencia se encuentra en aspectos tan básicos de la vida como, por ejemplo, el bombeo de sangre desde el corazón al resto del cuerpo humano, de modo que este proceso involucra las interacciones de energía con miles de millones de células, así como el calor corporal residual que se emite constante hacia el ambiente (Cengel y Boles, 2012). Por

tanto, desarrollar aprendizajes significativos de los principios básicos de la termodinámica es una competencia esencial de la educación en ingeniería.

Algunos de los conceptos más importantes de la formación en termodinámica son: la transferencia de calor, las escalas de temperatura, la entalpía y los tipos de trabajo —de frontera, de flujo y en el eje de la máquina— (Ferooshani, 2019). Debido a que, tradicionalmente, la termodinámica se estudia con la resolución de ejercicios de textos de curso y se recurre con poca frecuencia al análisis conceptual, se han hecho necesarios instrumentos de inventario de conceptos de termodinámica para ingeniería (Midkiff, Litzinger y Evans, 2001).

Finalmente, es necesario considerar que los contenidos académicos de la termodinámica no se restringen exclusivamente al área teórica. En la literatura científica también es posible encontrar aplicaciones como, por ejemplo, el uso de la termodinámica, en específico de su segunda ley en términos de la disipación de la energía asociada con procesos irreversibles como la representación de los mecanismos de falla en equipos industriales (Imanian y Modarres, 2017).

## **2.2 Proceso de la enseñanza y aprendizaje en la ingeniería contemporánea**

Tradicionalmente, se considera a los ingenieros en su formación y actividad laboral como «contribuyentes individuales de sus proyectos»; la realidad es que los ingenieros cada día trabajan de forma colaborativa en entornos multidisciplinarios y de diversidad cultural (Boyatzis, Rochford y Cavanagh, 2017). Por tanto, en un programa de formación coherente con los requerimientos contemporáneos del empleo en ingeniería, es importante fomentar el trabajo colaborativo y la gestión compartida de conocimiento. La investigación de Boyatzis propone algunas pautas para el diseño de currículos de

pregrado en ingeniería que, además del tradicional enfoque en conocimientos científicos y habilidades tecnológicas, también desarrolle la inteligencia emocional, la comunicación y el trabajo en equipo.

En términos generales, podemos considerar que el propósito de la inclusión de ciencias como la termodinámica en los currículos de los programas de ingeniería es generar en el estudiante la apertura hacia la abstracción y la resolución de problemas. El imaginario popular plantea que los problemas de aprendizaje en ciencias se solucionan con la práctica de un volumen significativo de ejercicios de los textos guías (Jiménez-Espinosa y Pérez-Martínez, 2010) en los que prima la memorización de técnicas para resolverlos.

Una herramienta que nos permite evaluar los procesos de enseñanza y aprendizajes es la taxonomía revisada de Bloom —RBT, por sus siglas en inglés—, la cual nos plantea una categorización del proceso cognitivo con seis jerarquías, representadas por verbos que van desde el de más baja complejidad cognitiva, recordando, hasta el de más alta complejidad cognitiva, creando (Radmehr y Drake, 2019).

Por tanto, la RBT nos indica la necesidad de una mayor diversidad de herramientas de aprendizaje a fin de pasar de la simple recordación de los pasos para resolver un ejercicio del texto guía y proceder a una dimensión del proceso cognitivo que genere mayor valor por sus aportes en el análisis diferencial, la evaluación crítica de contenidos y la creación de nuevo conocimiento.

**Tabla 1.** La taxonomía revisada de Bloom

| Las dimensiones del proceso cognitivo (RBT) |                                                                                                         |                             |                                             |                         |                                       |
|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|
| 1- Recordando                               | 2- Entendiendo                                                                                          | 3- Aplicando                | 4- Analizando                               | 5- Evaluando            | 6- Creando                            |
| Reconociendo<br>Llamando                    | Interpretando<br>Ejemplificando<br>Clasificando<br>Resumiendo<br>Inferiendo<br>Comparando<br>Explicando | Ejecutando<br>Implementando | Diferenciando<br>Organizando<br>Atribuyendo | Revisando<br>Critizando | Generando<br>Planeando<br>Produciendo |

**Fuente.** Radmehr y Drake, 2019.

### 2.3 Inclusión de la TIC en la formación del siglo XXI

Uno de los desafíos para los ingenieros del siglo XXI es la capacidad de aprender los conceptos fundamentales de las ciencias y aplicarlos correctamente en un contexto empresarial. Para cumplir con este propósito el aprendizaje de los estudiantes de ingeniería debe trascender de lo memorístico y operacional a una faceta creativa que incluya el trabajo colaborativo y de investigación a través de fuentes digitales.

La inclusión de la programación de computadores en la enseñanza de materias de ingeniería es, tal vez, uno de los primeros pasos hacia la inclusión de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en la formación de los ingenieros. El principal uso de la programación es resolver problemas de alto cálculo, lo cual es especialmente significativo cuando se requieren cálculos iterativos (Tuttle y Wu, 2002).

Por tanto, los estudiantes pueden asignar más tiempo y esfuerzo a analizar los conceptos, las causas y los efectos de las interacciones propuestas en un sistema termodinámico. El uso de los computadores facilita abordar las dimensiones más complejas del proceso cognitivo de la RBT, como, por ejemplo, el análisis de causas y efectos, evaluar de forma



crítica los resultados teóricos y crear sus propias soluciones a través de la programación de su propio *software* (Radmehr y Drake, 2019).

Además de la formación científica para ingenieros y el desarrollo de competencias dirigidas a la programación de computadores, el uso de las TIC en el proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias permite potencializar la interacción, la autonomía, el trabajo colaborativo y la participación de los estudiantes en su formación académica (Maldonado-Currea y Luque-Zabala, 2018). Finalmente, el proceso de enseñanza y aprendizaje debe entregar un aporte coherente con el contexto de la región y, por ende, aportar a su desarrollo sostenible.

## **2.4 La educación en ingeniería del siglo XXI**

Un curso contemporáneo de termodinámica, además de compartir los contenidos esenciales de la materia —tablas de vapor, ecuación de los gases ideales, primera y segunda ley de la termodinámica, ciclos de potencia de vapor, motores de combustión interna y ciclos de refrigeración (Bailey *et al.*, 2004)—, debe ofrecerle a los estudiantes la posibilidad de interactuar con equipos industriales reales, ya sea a través de las experiencias de laboratorios, el contacto directo con fabricantes de maquinaria o la visita a plantas de producción que cuenten con facilidad para la gestión del vapor industrial.

Una revisión de las estrategias dirigidas a mejorar la experiencia de enseñanza y aprendizaje en la termodinámica (Mulop, Mohd-Yusof y Tasir, 2012) muestra los siguientes métodos: materiales didácticos, sistemas híbridos presenciales y virtuales —*blended*—, herramientas virtuales en línea para la revisión y visualización de maquinaria, simulaciones digitales de experiencias previas en laboratorio, ambientes de aprendizaje activo, equipos portátiles de experimentación, herramientas multimedia, laboratorios virtuales,

simulaciones computacionales realizadas y explicadas por expertos. Algunos de los efectos logrados con estos métodos alternativos son: habilidades para la solución de problemas, competencias para el diseño, trabajo en equipo, interactividad, análisis de gráficas y tablas termodinámicas.

Por otro lado, la parte experimental de un curso de termodinámica tiene el objetivo de ayudar a los estudiantes a comprender los procesos termodinámicos básicos utilizando aplicaciones de la vida real (Abu-Mulaweh, 2004). Una buena experiencia de aprendizaje con el desarrollo de sus propios dispositivos de experimentación debe contener los siguientes requisitos mínimos: el sistema debe basarse en un ciclo termodinámico, todos los componentes del sistema deben ser visibles y contar con los instrumentos básicos para la medición de su estado, dimensiones mínimas y máximas establecidas, estandarización de los resultados esperados en temperaturas finales, el uso de fluidos ambientalmente amistosos, el uso de electricidad estándar residencial y un limitante en el costo del proyecto.

En el contexto contemporáneo, el aprendizaje basado en proyectos tiene preponderancia. El objetivo de esta experiencia de enseñanza y aprendizaje es fortalecer las habilidades para el diseño, por ejemplo, en un proyecto de clase con miras a la construcción de un dispositivo activo —juguete— en el que se evidencien los conceptos de presión de vapor y cambios de fase (Lang y Puzinauskas, 2008), de acuerdo con los criterios establecidos por la ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology); sus resultados de aprendizaje deben ser: las habilidades para el trabajo en equipo y la competencia en el proceso de diseño que incluye la gestión del trabajo iterativo, así como del conocimiento adquirido de los errores.

También los proyectos colaborativos pueden ser desarrollados alrededor de la asignación a cada grupo de trabajo de una simulación computacional (Wright, 2020) que, al ser evaluada al final del curso, permiten encontrar efectos en los estudiantes como, por ejemplo, expectativas de desempeño establecidas en niveles apropiadamente altos, inversión significativa de tiempo y esfuerzo por parte de los estudiantes durante un periodo prolongado de tiempo, interacciones con profesores y compañeros sobre asuntos claves del curso, experiencias con diversidad en las que los estudiantes están expuestos y deben lidiar con personas y circunstancias que difieren de aquellas con las que los estudiantes están familiarizados, comentarios frecuentes, oportunos y constructivos, oportunidades periódicas y estructuradas para reflejar e integrar el aprendizaje y, finalmente, demostraciones públicas de su propia competencia.

### **3. Metodología**

Después de describir algunos antecedentes de la enseñanza y el aprendizaje de la termodinámica, así como las principales características para la educación en ingeniería para el siglo XXI y sus efectos, se propone un plan de desarrollo del curso que aproveche las capacidades digitales para la investigación de la biblioteca institucional y fomente el trabajo colaborativo y creativo de los estudiantes.

La estrategia metodológica para lograr una experiencia de aprendizaje significativo en este curso mediado por tecnología radica en dos proyectos. El primer proyecto consiste en la revisión de la biblioteca pública de documentación en ingeniería disponible en el sitio web del fabricante SpiraxSarco —líder mundial en equipos y accesorios para la gestión eficiente del vapor—, escoger un dispositivo o equipo y articular las características de este con los conceptos básicos de la termodinámica. El segundo proyecto tendrá su

enfoque en el hallazgo de artículos académicos de las bases de datos de la biblioteca institucional y su relación con los más recientes avances en termodinámica.

Finalmente, los estudiantes en sus respectivos equipos de trabajo presentarán un informe con sus resultados de investigación, así como la presentación final, en la cual sustentarán sus principales hallazgos y aprendizajes.

#### **4. Propuesta de desarrollo del curso**

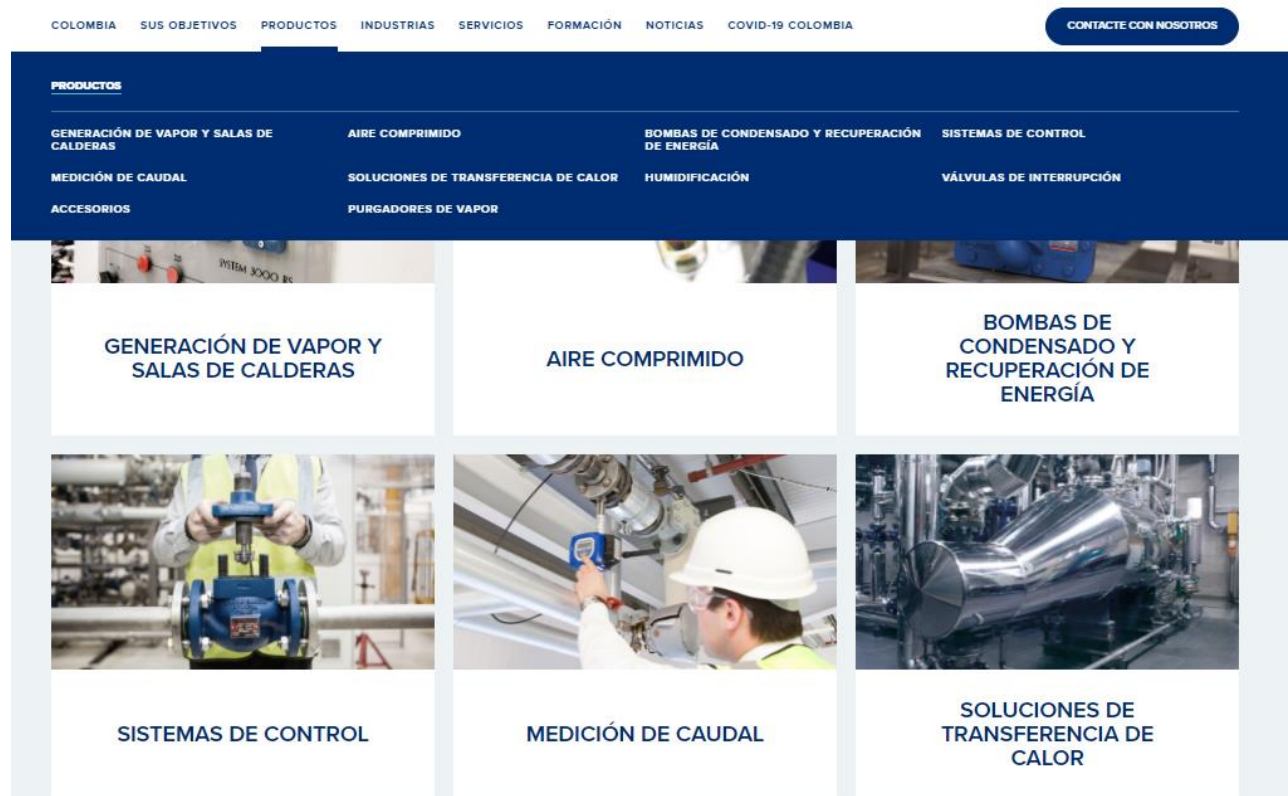
Con el propósito de aprovechar la inmersión de este curso presencial en un entorno asistido por tecnología, se proponen dos líneas de trabajo secuenciales. La primera con el fin de relacionar los conocimientos adquiridos por los estudiantes con la realidad de la industria y la segunda una aproximación orientada al aprovechamiento de las bases de datos a las que tiene acceso la biblioteca digital Uniminuto, así como relacionar los más recientes avances de las ciencias térmicas con los contenidos del curso.

##### **4.1 Industria y teoría**

Por medio de una propuesta de trabajo con la combinación de elementos colaborativos, sincrónicos y remotos, los estudiantes exploraron las principales opciones tecnológicas ofertadas por el líder industrial de la gestión energética del vapor SpiraxSarco. En esta inmersión se articularon los conceptos aprendidos en las sesiones sincrónicas con la realidad de la industria, donde se incorporarán después de la graduación.

En el sitio web de SpiraxSarco, en su sección de producto, el fabricante dispone al público de diferentes selectores y hojas de ingeniería para la selección de equipos y la toma de decisiones con miras a mejorar la eficiencia energética en procesos con vapor industrial.

**Figura 1.** Vista general de los recursos públicos de ingeniería del fabricante SpiraxSarco



**Fuente.** SpiraxSarco, s.f.

## 4.2 Avances recientes en termodinámica

Por otro lado, los mismos equipos de trabajo que desarrollaron la experiencia de aprendizaje descrita estuvieron inmersos en la búsqueda de artículos científicos de las bases de datos de la biblioteca digital Uniminuto, relacionados con los términos termodinámica y ahorro energético. Este trabajo resultó en la presentación, por parte de cada equipo de trabajo, de los hallazgos más recientes de las ciencias térmicas y la eficiencia térmica, los cuales, con seguridad, aún no están incluidos en los programas tradicionales de curso en esta materia.

La biblioteca digital de la Corporación Universitaria Minuto de Dios cuenta con el repositorio institucional que compila los proyectos de grado de sus diferentes programas, la sección de libros electrónicos y la sección de prestigiosas bases de datos como, por ejemplo, Taylor & Francis, Scopus, ScienceDirect, Sage, Springer, Nature, Virtual Pro, Proquest, EBSCO, Oxford, Jstore, etc. Estas fueron ampliamente usadas para la elaboración del presente artículo y de las actividades desarrolladas por los estudiantes.

**Figura 2.** Vista general de los recursos digitales de la biblioteca institucional



**Fuente.** Corporación Universitaria Minuto de Dios - Uniminuto, s.f.

## 5. Aplicación de la propuesta de desarrollo del curso

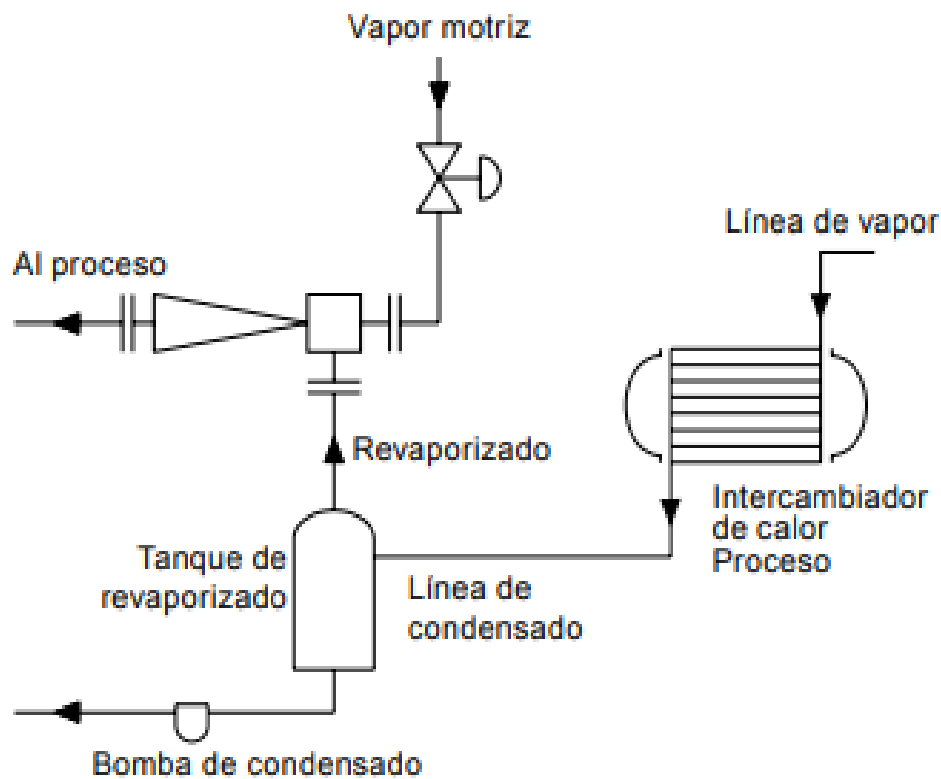
A continuación, se presenta la aplicación de la propuesta de desarrollo del curso desde la experiencia y la escritura de los estudiantes.

### **5.1 Industria y teoría: aprendizajes sobre termocompresores**

Los termocompresores se emplean para recuperar y reutilizar la energía del vapor. Son un tipo simplificado de bomba de vacío que se caracteriza por no tener ni pistones ni válvulas, ni rotores, ni piezas móviles, lo cual hace que estos puedan ser instalados en cualquier parte, además de tener un fácil mantenimiento.

El enfoque central de la implementación de un proyecto industrial con termocompresores es el ahorro energético. El funcionamiento de los termocompresores, de acuerdo con SpiraxSarco, es el siguiente: el vapor matriz o vapor sobrecalentado que viene de las calderas pasa directamente por una boquilla que tiene como función reducir la presión, de modo que atrae el vapor residual, es decir, el vapor que ya fue utilizado en el proceso, lo que da como resultado una mezcla de vapor lista para su reutilización en el proceso (SpiraxSarco, 2019). Finalmente, en el trabajo de grado de Bolaños (2008) se evidencia la aplicación de los termocompresores para la lograr la mejora del desempeño energético en una fábrica de papel en el suroccidente colombiano.

**Figura 3.** Diagrama básico de un termocompresor de vapor SJT



**Fuente.** SpiraxSarco, 2019.

## 5.2 Industria y teoría: aprendizajes sobre los accesorios de los sistemas de vapor

El análisis de eficiencia energética de los sistemas de vapor se centra en los equipos principales: calderas, turbinas, bombas, etc. Sin embargo, el conocimiento y la apropiada selección de los accesorios de los sistemas de vapor permitirá la producción de vapor limpio y seco dentro del sistema, a fin de garantizar la eficiencia y el rendimiento de toda la planta.



Los accesorios de tuberías tales como los filtros, las válvulas, los difusores y los manómetros son herramientas de gestión de eficiencia que permiten mejorar el funcionamiento energético de una organización. El vapor limpio y seco garantiza la longevidad de la planta y evitará la erosión de tuberías.

La correcta selección, instalación y operación de los accesorios permite proteger las inversiones realizadas en los equipos principales de planta de vapor. Un ejemplo de esto es la apropiada instalación de los manómetros, que son instrumentos para medir la presión del fluido en un circuito cerrado y permiten la identificación de las diferentes amenazas potenciales a la seguridad de la planta, como lo son las presiones altas y los fallos en el sistema por baja presión. Al tener un conocimiento de la presión a la que está sometido el sistema con un error menor o igual al 3 % se asegura un correcto funcionamiento de las máquinas, las piezas, los dispositivos y los accesorios, entre otros, al garantizar una operación dentro de los límites de presión establecidos por los diversos fabricantes.

En contraste, cuando no hay elementos que protejan o complementen la funcionalidad de los equipos, estos se encontrarán expuestos a daños graves e, incluso, pueden ocasionar un consumo excesivo de energía para el funcionamiento normal de la planta.

Otro caso muy particular en los sistemas de vapor es la pérdida de calor por fugas de vapor; las capas de escamas que se encuentran en las paredes de las tuberías se deben a la formación natural de óxido en el sistema. Estos fragmentos tendrán el efecto de aumentar la tasa de erosión en las tuberías curvadas y en el orificio de las trampas y las válvulas. Cuando una tubería se daña, ya sea por la corrosión o a causa de golpes, puede ocasionar grandes fugas; si estas no son reparadas generan pérdidas de vapor, combustible, particularmente dinero y, finalmente, eficiencia en todo el sistema.

A fin de evitar esto y mantener constante —e incluso mejorar— la eficiencia energética del sistema, una estrategia pertinente es la instalación de sistemas de filtración. En ellos el vapor pasa a través de la entrada del filtro y, luego, desde la pantalla perforada a la salida. La suciedad en el vapor queda atrapada en la pantalla y puede ser removida al abrir la tapa y luego limpiando la pantalla. Esto permitirá el paso sin problemas del vapor. Así, muchos de los accesorios que se utilizan en los sistemas de vapor proporcionan mayor efectividad y funcionalidad del sistema (SpiraxSarco, 2018).

### **5.3 Avances recientes en termodinámica: aprendizajes de un artículo sobre la recuperación del calor en la industria del aluminio**

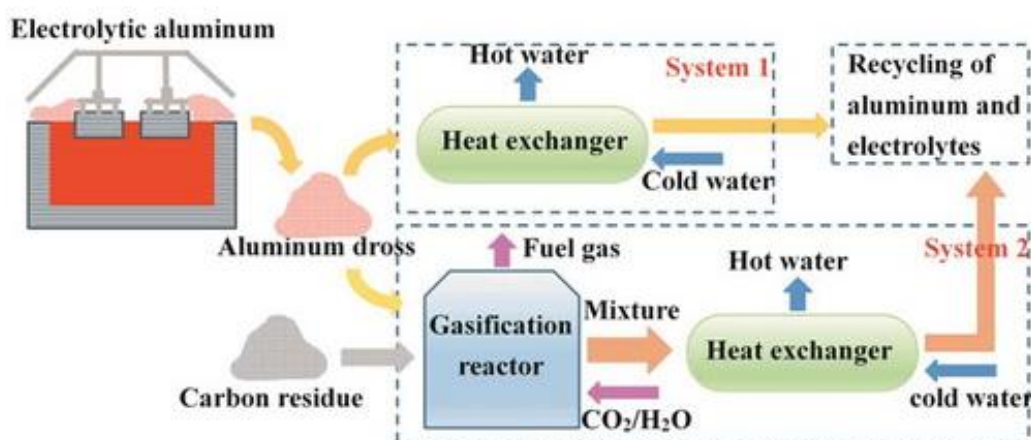
En la base de datos de la biblioteca Uniminuto, como, por ejemplo, en Taylor & Francis, que es una plataforma habilitada para el acceso de estudiantes universitarios, se exponen diversos artículos académicos y de investigación aplicados a conceptos de termodinámica y su implementación a procesos industriales. Artículos como «Análisis termodinámico de la recuperación de calor residual de la escoria de aluminio en la industria del aluminio electrolítico, fuentes de energía, parte A: recuperación, utilización y efectos ambientales» (Yang *et al.*, 2019) hacen referencia a la implementación de un proceso de recuperación de calor residual de la escoria de aluminio mediante acoplamiento por métodos físicos y químicos.

En este proceso, el calor residual en el rango de alta temperatura fue recuperado por reacción de gasificación de residuos de carbono, mientras el calor residual en el rango de baja temperatura se recuperó por un método físico (PM). Fue posible evidenciar, entonces, que el análisis de la investigación planteada por los autores se basó en la interpretación de la relación de entalpía y energía para comprobar el PM; ahora, el análisis del método de acoplamiento físico-químico (PCCM) que procesa la escoria de aluminio se llevó a cabo

mediante el método de brújula termodinámica. La comparación entre los diferentes métodos —PM y PCCM— de recuperación del calor residual de la escoria de aluminio se realizó por medio de diagramas de entalpía-energía que permiten identificar la selección del método óptimo.

Este trabajo es importante para la literatura sobre el manejo de residuos de carbono, ya que actualmente los residuos de carbono se eliminan en vertederos sin un tratamiento adecuado o se queman en una atmósfera que contiene oxígeno para recuperar el electrolito. Esto no solo hace que se desperdicien recursos de carbono, sino que también promueve la emisión de gases de efecto invernadero. Por tanto, plantear un proceso en el que el calor residual en el rango de alta temperatura es recuperado por reacción de gasificación de residuos de carbono y el calor residual en el rango de baja temperatura es recuperado por PM permite a industrias del sector no solo recuperar el calor residual de la escoria de aluminio, sino también recuperar el carbono en el residuo de carbono a fin de producir gas combustible para un uso amplio (Mardones *et al.*, 2015).

**Figura 4.** Sistema de recuperación de la energía térmica y su reutilización



**Fuente.** Yang *et al.*, 2019.

#### **5.4 Avances recientes en termodinámica: aprendizajes de un artículo sobre un sistema centralizado de climatización por agua helada**

En el artículo de investigación «Una evaluación termodinámica del sistema de aire acondicionado central de agua helada utilizando herramientas de inteligencia artificial» (Armas, 2011) se presenta el estudio de un sistema centralizado de climatización por agua helada, con el fin de analizar las posibles irreversibilidades en los componentes del ciclo. Así mismo, se pretende observar la sensibilidad de las variables ante los cambios en las operaciones. Para esto se hace uso de herramientas conductuales, como lo son las redes neuronales artificiales, los algoritmos genéticos y la programación desarrollada en el *software* Matlab®, con el fin de establecer las propiedades de los refrigerantes en cada parte del ciclo objeto de estudio. Esto, a su vez, responde a la interrelación con las diferentes ecuaciones que describen el comportamiento del sistema termodinámico.

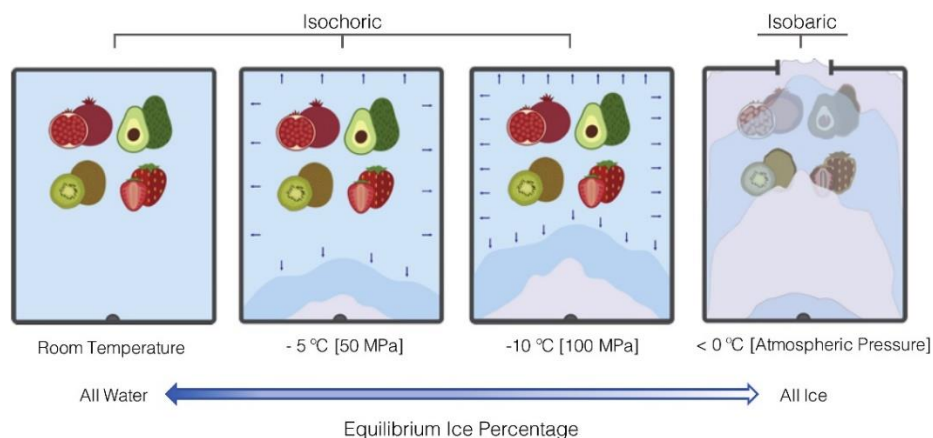
En este estudio se plantea un modelo híbrido que conjuga el modelo neuronal con un algoritmo genético simple para la optimización del sistema. Finalmente, se obtiene como resultado que los componentes más sensibles a cambios en las operaciones son el evaporador y el compresor, con una pérdida exergética significativa (Armas *et al.*, 2011).

#### **5.5 Avances recientes en termodinámica: artículo sobre la estabilidad de la temperatura en el almacenamiento de alimentos congelados**

Se realizó una búsqueda en las bases de datos de la universidad con el fin de encontrar artículos relacionados con la termodinámica y sus recientes aplicaciones industriales; nos centramos en el artículo «Un cambio del estado termodinámico isobárico al isocórico puede reducir el consumo de energía y aumentar la estabilidad de la temperatura en el almacenamiento de alimentos congelados» (Powell y Rubinsky, 2019).

En esta investigación se evidencia el significativo ahorro energético del uso de los contenedores isocóricos, debido a que no utilizan hielo para la preservación de los alimentos, en contraste con el funcionamiento de los equipos tradicionales de proceso isobárico. El proceso isocórico preserva los alimentos de una forma natural, reduciendo la tasa de metabolismo y degradación biológica, así como la pérdida de peso y la formación de cristales de hielo.

**Figura 3.** Comparación de los sistemas isocóricos e isobáricos para la conservación de alimentos



**Fuente.** Powell y Rubinsky, 2019.

El principal problema de los procesos isobáricos es la alta cantidad de energía requerida en la producción del hielo, ya que la eficiencia del almacenamiento en los procesos tradicionales —isobáricos— está constituida por dos fases de congelamiento del producto antes de ser almacenado y la necesidad de mantener las temperaturas bajas durante toda la cadena del suministro. Por otro lado, los contenedores isocóricos no son dependientes de fuentes de poder para la generación de temperaturas bajo cero con miras a la preservación de alimentos, ya que estos contenedores tienen un aislamiento térmico que impide la transferencia de calor con el medio ambiente; de esta forma, preservan los alimentos de la forma más natural posible.

Los contenedores isocóricos se han puesto a prueba con una efectividad muy alta en la preservación de órganos para el trasplante, sin embargo, en la actualidad presentan limitaciones en la construcción bajo límites económicos viables de los contenedores con los tamaños apropiados para el transporte y la preservación de alimentos.

## **6. Discusión de los resultados**

Considerando los resultados de esta experiencia de enseñanza-aprendizaje de un curso presencial en termodinámica y su paso a la mediación remota por emergencia, es evidente que el proceso de aprendizaje está centrado en el estudiante y, por tanto, se espera de él o ella las evidencias de su aprendizaje activo y significativo que se enlistan a continuación (Bonwell y Eison, 1991).

- Los estudiantes hacen algo más que escuchar de manera pasiva. Además de participar en las sesiones magistrales por Google Meet, los estudiantes tomaron el desafío de comparar por su propia cuenta los conceptos revisados en el curso con la información del fabricante SpiraxSarco, así como de los artículos de investigación disponibles en las bases de datos de la biblioteca digital institucional.
- Los estudiantes participan en actividades. Los resultados de sus investigaciones en la información técnica del fabricante SpiraxSarco y de los artículos de investigación relacionados con la termodinámica permitieron a los estudiantes evidenciar sus resultados de aprendizaje a través de un informe gerencial y la exposición de hallazgos y aprendizajes.
- Hay poco énfasis en la emisión de información y se da mucha importancia al desarrollo de las habilidades del estudiante. El estudiante usa las fuentes de información de su preferencia, por ejemplo, con respecto a los equipos industriales, los estudiantes también

revisaron y usaron como referencias a otros fabricantes, además de SpiraxSarco. De la misma manera cada equipo de trabajo escogió bases de datos diferentes, así como diferentes aplicaciones de la termodinámica, es decir, cada equipo seleccionó las herramientas más coherentes con su estilo cognitivo.

- Se hace más hincapié en la exploración de actitudes y valores. El énfasis de todas las actividades de aprendizaje desarrolladas fue el ahorro energético, el cual es indispensable para el desarrollo sostenible.
- Se incrementa la motivación de los estudiantes. El empoderamiento producido por estas experiencias de aprendizaje genera una mayor seguridad personal e inteligencia emocional en el futuro profesional, ya que la actividad se desarrolló en condiciones que simulan las de un entorno laboral contemporáneo.
- Los estudiantes practican un pensamiento de orden superior. Los estudiantes no solo siguen instrucciones, ahora crean sus propias herramientas para el aprendizaje de las ciencias de la ingeniería, de acuerdo con su estilo de aprendizaje y personalidad.

Por otra parte, estos resultados de aprendizaje deben ser comparados con otras experiencias de enseñanza y aprendizaje bajo la modalidad de distancia por emergencia. Una generación digital aumentará su interés en las materias estudiadas con el uso de *software*. El uso del *software* en una estrategia de formación activa para estudiantes de ingeniería permitirá aprendizajes significativos. Así mismo, los *softwar* que simulan procesos industriales reales disminuyen los costos de adquisición y mantenimiento de los tradicionales laboratorios físicos (Acevedo, Valencia y Obregón, 2020).

Con el uso de un *software* de simulación de procesos termodinámicos propio de la Universidad del Atlántico, los estudiantes que hicieron parte de esta práctica mejoraron

sus resultados en los exámenes finales y se hizo evidente tanto en el curso tradicional como en esta modalidad de emergencia, en la que los estudiantes también adquirieron grandes cantidades de información, pero fueron quienes, expuesto al trabajo con el *software* de simulación, presentaron las conclusiones más robustas y las mejores habilidades para la interpretación de tablas y gráficas, de modo que son coherentes con la realidad de los procesos industriales que son dinámicos y no estáticos, como lo son los ejercicios de los textos tradicionales de termodinámica.

En el caso de una universidad europea, en la que el curso de termodinámica se desarrolla en el formato tradicional de conferencia magistral con asistencia presencial de hasta cien estudiantes, lo cual por motivos de la pandemia se hace inviable, se utiliza el teléfono inteligente como sistema de respuesta al estudiante o SRS —por sus siglas en inglés—, en el cual, a través del aplicativo Kahoot, se realizan unas pruebas previo al examen final del curso. En estas, a partir de estos resultados, se refuerzan las áreas en las que el estudiante evaluado muestra debilidad y se obtiene, finalmente, una correlación lineal muy fuerte entre los resultados de la segunda prueba Kahoot, en la cual los estudiantes recibieron el refuerzo apropiado y del examen final del curso (Caserta *et al.*, 2021). Los estudiantes encuestados valoraron que pudieron participar de forma activa, en contraste con las clases magistrales en las que, normalmente, participaban unos cinco o seis estudiantes.

En el caso de una universidad estadounidense, en la que el semestre presencial de la primavera del 2020 por causa de la pandemia pasa a una modalidad de distancia por emergencia, cambiaron sus tradicionales exámenes masivos de final de curso por un portafolio de evidencias (Vigeant, 2021). En este se planteaban escenarios amplios para la solución de problemas de ingeniería que requerían acceder a los recursos digitales de



acceso libre de diferentes fabricantes y, a través de una rúbrica, establecer claramente los parámetros de entrega del mencionado portafolio. Se encuesta a los estudiantes, quienes valoraron esta nueva forma de evaluación que les permitió mostrar su competencia más allá de la memorización y los acercó a la solución de problemas presentes en la industria.

En contraste, se encuentran experiencias de aprendizaje muy valiosas que requieren de las interacciones persona a persona, entre las que destaca el aprendizaje basado en proyectos y su efecto en las notas de los exámenes finales. Se documenta el caso de un proyecto de clase realizado en grupos de trabajo, una simulación de procesos termodinámicos en un programa comercial (Calvo y Prieto, 2016) en la que, en primer lugar, el docente realizaba una práctica paso a paso con sus estudiantes en la sala de computo de la universidad, con su respectiva grabación para consultas posteriores. Luego, el docente asignaba diferentes simulaciones a cada equipo de trabajo. En un comparativo entre las generaciones del 2014 —no hicieron la simulación— y del 2015 —sí hicieron la simulación— se evidencia mejores resultados globales en la calificación del examen final del curso.

Finalmente, ya que uno de los principales obstáculos para entender los conceptos de la termodinámica es que los dispositivos, ciclos y equipos estudiados no son familiares para los estudiantes. La experiencia de aprendizaje de realizar la inmersión presencial con los estudiantes en procesos industriales reales (Suwa y Kurniawan, 2020), en los que, después de conocer en el aula los principios de las turbinas de vapor y los compresores de gas, con la visita a la planta de generación eléctrica local observan la operación general de los equipos y revisan los datos reales de desempeño, así como el efecto de los diferentes dispositivos y procesos para mejorar su eficiencia, los hallazgos y las propuestas de los

estudiantes son presentados al final de la experiencia a la gerencia y al personal de ingeniería de la planta.

## **7. Conclusiones**

El cambio de la metodología presencial absoluta a la presencialidad asistida por tecnología de este curso de termodinámica permitió la apertura hacia el uso de las TIC para potencializar la interacción, la autonomía, el trabajo colaborativo y la participación de los estudiantes en su formación académica (Maldonado-Currea y Luque-Zabala, 2018).

Se evidenció la consecución de aprendizajes significativos en los estudiantes del curso, ya que trascendieron de la escucha pasiva y la memorización de las técnicas dirigidas a resolver ejercicios, hacia el desarrollo de sus propias habilidades para hallar el sentido de aplicación de los principios teóricos, así como una articulación del trabajo académico con el desarrollo sostenible, sus propios valores y estilo de trabajo.

De acuerdo con los estudiantes, el principal aprendizaje del trabajo con las bases de datos de la biblioteca institucional es la capacidad de abordar y exponerse a temas complejos, así como mantener la motivación y la habilidad de apropiar estos nuevos conocimientos; esto será de gran ayuda para el manejo de asuntos desafiantes en un ámbito profesional futuro.

Por otra parte, la revisión de artículos contemporáneos permite la apropiación de temas actuales, como, por ejemplo, los algoritmos genéticos y las redes neuronales, los cuales son relevantes para el futuro de la ingeniería industrial. De igual modo, la introducción a problemáticas medio ambientales como la mitigación del daño medioambiental causado por el uso de aires acondicionados en Colombia (Cardona, 11 de abril de 2009).

Los conceptos desarrollados se articulan con las experiencias personales de los estudiantes, la dimensión emocional y la seguridad para el futuro laboral que genera la creación de nuevo conocimiento y de las herramientas personalizadas dirigidas a su desarrollo.

El uso de las TIC en el proceso de enseñanza y aprendizaje de la termodinámica promueve la investigación en el aula, haciendo uso de las bases de datos de la biblioteca institucional, muchas veces desconocidas por los estudiantes, así como les permiten acercarse de forma directa a los más recientes avances científicos.

Esta experiencia de enseñanza y aprendizaje nos muestra, entonces, la necesidad en los currículos contemporáneos de ingeniería, entre la enseñanza rigurosa y correcta, de los principios de las ciencias y la creación de nuevo conocimiento a través del uso de las TIC.

## Referencias

- Abu-Mulaweh, H. (2004). Portable experimental apparatus for demonstrating thermodynamics principles. *International Journal of Mechanical Engineering Education*, 32(3). DOI: <https://doi.org/10.7227/IJMEE.32.3.4>
- Acevedo, J.; Valencia, G.; Obregón. L., (2020). Development of a new educational package based on e-learning to study engineering thermodynamics process: combustion, energy and entropy analysis. *Heliyon*, 6(6), E04269. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04269>
- Armas, J.; Lapidó-Rodríguez, M.; Gómez, R.; Valdivia-Nodal, Y. (2011). Evaluación termodinámica de sistemas de climatización centralizados por agua helada usando herramientas de inteligencia artificial. *Ingeniería e Investigación*, 31(2), 134-142.
- Bailey, M.; Albert, B.; Arnas, O.; Klawunder, S.; Klegka, K.; Wolons, D. (2004). A unique thermodynamics course with laboratories. *International Journal of Mechanical Engineering Education*, 32(1), 54-77. DOI: <https://doi.org/10.7227/IJMEE.32.1.5>
- Bejan, A. (2018). Thermodynamics today. *Energy*, 160, 1208-1219. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.07.092>

- Bolaños, P. D. (2008). *Sistematización del balance térmico en la máquina 4 de Propal S. A* (Trabajo de grado). Universidad Autónoma de Occidente. Santiago de Cali, Colombia. Recuperado de <https://bit.ly/3zS0gWY>
- Bonwell, C. C.; Eison, J. A. (1991). *Active learning: creating excitement in the classroom*. Washington: The George Washington University, School of Education and Human Development. Recuperado de <https://bit.ly/3zFNCKs>
- Boyatzis, R. E.; Rochford, K.; Cavanagh, K. V. (2017). Emotional intelligence competencies in engineer's effectiveness and engagement. *Career Development International*, 22(1), 70-86. DOI: <https://doi.org/10.1108/CDI-08-2016-0136>
- Calvo, L.; Prieto, C. (2016). The teaching of enhanced distillation processes using a commercial simulator and a project-based learning approach. *Education for Chemical Engineers*, (17), 65-74. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.ECE.2016.07.004>
- Cardona, M. (11 de abril de 2019). Ser responsables en un mercado que crece. *La República*. Recuperado de <https://bit.ly/3m7ak9k>
- Caserta, S.; Tomaiuolo, G.; Guido, S. (2021). Use of a smartphone-based student response system in large active-learning. *Chemical Engineering Thermodynamics classrooms. Education for Chemical Engineers*, 36, 46-52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ece.2021.02.003>
- Cengel, Y.; Boles, M. (2012). *Termodinámica* (7ª ed.). Ciudad de México: Mc Graw Hill.
- Foroushani, S. (2019). Misconceptions in engineering thermodynamics: a review. *International Journal of Mechanical Engineering Education*, 47(3), 195-209. DOI: <https://doi.org/10.1177%2F0306419018754396>
- Imanian, A.; Modarres, M. (2017). Thermodynamics as a fundamental science of reliability. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O. Journal of Risk and Reliability*, 230(6), 598-608. DOI: <https://doi.org/10.1177%2F1748006X16679578>
- Jiménez-Espinoza, A.; Pérez-Martínez, C. (2010). Las emociones en la deserción del conocimiento matemático. *Praxis & Saber*, 1(1), 191-216. Recuperado de <https://bit.ly/3ALyA7m>
- Lang, A.; Puzinauskas, P. (2008). Adding a continuous improvement design element to a sophomore-level thermodynamics course: using the drinking bird as a heat engine. *International Journal of Mechanical Engineering Education*, 36(4), 366-372. DOI: <https://doi.org/10.7227%2FIJMEE.36.4.7>

- Maldonado-Currea, A.; Luque-Zabala, A. (2018). Implementación de las TIC en el proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias, *Revista Virtu@lmente*, 6(1), 90-98. DOI: <https://doi.org/10.21158/2357514x.v6.n1.2018.2107>
- Mardones, C.; Paredes, C.; Jiménez, J.; Farías, O; Catalán, P. (2015). Tecnologías de control de emisiones y disponibilidad de gas natural como opciones para reducir emisiones de MP<sub>2,5</sub> en el Concepción Metropolitano. *Revista de Análisis Económico*, 30(1), 3-23. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-88702015000100001>
- Midkiff, K.; Litzinger, T.; Evans, D. (2001). *Development of engineering thermodynamics concept inventory instruments*. Ponencia presentada en 31st Annual Frontiers in Education Conference. Impact on Engineering and Science Education. IEEE, Reno, EE. UU., 10-13 de octubre. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-88702015000100001>
- Mulop, N.; K, Mohd-Yusof.; Tasir, Z. (2012). A review on enhancing the teaching and learning of thermodynamics. *Procedia. Social and Behavioral Sciences*, 56, 703-712. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.706>
- Powell, M.; Rubinsky, P. B. (2019). A shift from the isobaric to the isochoric thermodynamic state can reduce energy consumption and augment temperature stability in frozen food storage. *Journal of Food Engineering*, 251, 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.02.001>
- Radmehr, F.; Drake, M. (2019). Revised Bloom's taxonomy and major theories and frameworks that influence the teaching, learning, and assessment of mathematics: a comparison. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 50(6), 895-920. DOI: <https://doi.org/10.1080/0020739X.2018.1549336>
- SpiraxSarco. (2018). *Accesorios*. Recuperado de <https://bit.ly/3zLiBEX>
- SpiraxSarco. (2019). *Termocompresores*. Recuperado de <https://bit.ly/39Jlf28>
- SpiraxSarco. (s.f.). *Productos*. Recuperado de <https://bit.ly/3EQSSPf>
- Suwa, T.; Kurniawan, T (2020). Redesigning a commercial combined cycle in an undergraduate thermodynamics course: connecting theory to practical cycle design. *International Journal of Mechanical Engineering Education*, Febrero, 1-20. DOI: <https://doi.org/10.1177%2F0306419020904647>
- Tuttle, K., Wu, C. (2002). Computer-based thermodynamics. *Journal of Educational Technology Systems*, 30(4), 427-436. DOI: <https://doi.org/10.2190/B0X1-R5PW-LCYJ-YYME>
- Uniminuto. (s.f.). *Sistema Nacional de Bibliotecas*. Recuperado de <https://bit.ly/3m2xRZ5>

- Vigeant, M. (2021). A portfolio replacement for a traditional final exam in thermodynamics. *Education for Chemical Engineers*, 35, 1-6. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ece.2020.11.010>
- Wright, K. (2020). Collaborative projects with simulation assignments in mechanical Engineering thermodynamics courses. *International Journal of Mechanical Engineering Education*, 48(2), 140-161. DOI: <https://doi.org/10.1177/0306419018803624>
- Yang, F.; Qingbo, Y.; Zongliang, Z.; Hou, L. (2019). Thermodynamic analysis of waste heat recovery of aluminum dross in electrolytic aluminum industry. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 43(9), 1047-1059. DOI: <https://doi.org/10.1080/15567036.2019.1634163>