

Caso de una termoeléctrica en obsolescencia para la enseñanza de ingeniería*¹

Case of a thermal power plant in obsolescence for engineering teaching

Caso de uma usina termelétrica em obsolescência para o ensino de engenharia

ALEJANDRO ARTURO PÉREZ VILLEGAS², ADRIANA MARÍA SÁNCHEZ NAVARRETE³,
MÓNICA MÉNDEZ ONTIVEROS⁴

Recibo: 31.01.2018 – Aprobación: 12.09.2018

DOI: <https://doi.org/10.30554/ventanainform.38.2862.2018>

Resumen: *Cada semestre, el docente enfrenta retos para lograr el objetivo del proceso enseñanza-aprendizaje de sus asignaturas. Con el tiempo, han surgido distintas estrategias que hoy en día son aceptadas y plantean diversas posibilidades en el aula, por ejemplo el estudio de caso. En este artículo se discute el aprendizaje basado en el estudio de casos, concretamente el estudio de una central termoeléctrica con tendencia a la*

* **Modelo para la citación de este artículo / Template for citation of this article / Modelo para a citação deste artigo:**
PÉREZ VILLEGAS, Alejandro Arturo; SÁNCHEZ NAVARRETE, Adriana María & MÉNDEZ ONTIVEROS, Mónica (2018). Caso de una termoeléctrica en obsolescencia para la enseñanza de Ingeniería. En: Ventana Informática No. 38 (ene-jun). Manizales (Colombia): Facultad de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Manizales. p. 101-117. ISSN: 0123-9678. DOI: <https://doi.org/10.30554/ventanainform.38.2862.2018>

- 1 Artículo de reflexión / Reflection Article / Artigo de reflexão
Proyecto / Project / Projeto: Prueba de desempeño y discusión de caso: una experiencia de investigación educativa en ingeniería / Performance test and case discussion: an educational research experience in engineering / Teste de desempenho e discussão de casos: uma experiência de pesquisa educacional em engenharia.
Periodo / Period / Período: 01/2017-12/2017
Institución / Institution / Instituição: Universidad Autónoma de San Luis Potosí (San Luis Potosí, México).
- 2 Maestro en Ciencias / Master of Science/ Mestrado da Ciência. Jefe de Área de Educación Continua, Facultad de Ingeniería / Head of Continuing Education Area, Faculty of Engineering / Chefe da Área de Educação Continuada, Faculdade de Engenharia, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. aaperez@uaslp.mx. <http://orcid.org/0000-0002-2295-2008>
- 3 Ingeniera en Mecánica / Engineer in Mechanics / Engenheiro em Mecânica. Asistente del Área de Educación Continua, Facultad de Ingeniería / Assistant of the Continuing Education Area, Faculty of Engineering / Assistente da Área de Educação Continuada, Faculdade de Engenharia, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. adriana86sn@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0002-2699-6294>
- 4 Maestra en Administración / Master of Administration / Mestrado em Administração. Docente de Tiempo Completo / Full Time Teacher / Professor a tempo inteiro, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. monicamendezonti@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0002-5455-3685>

obsolescencia, con el fin de facilitar la comprensión de los contenidos de la asignatura de Termodinámica por parte de un grupo de estudiantes de Ingeniería Mecánica. Se analizaron los criterios y decisiones relacionados en la búsqueda de una solución tangible acorde a la sustentabilidad, costos, calidad, eficiencia y, sobre todo, responsabilidad y conciencia social.

Palabras clave: *Enseñanza situada, estudio de caso, rúbricas, central termoeléctrica, medio ambiente, responsabilidad y conciencia social.*

Abstract: *Each semester, teachers face challenges to achieve the goal of the process of teaching and learning on their subjects. Over time, different strategies have emerged and they are now accepted and raise different possibilities in the classroom, for example case study. This article discusses the case study-based learning, in particular, the study of a thermal power station with a tendency to obsolescence is discussed, in order to facilitate the understanding of the contents of the subject of thermodynamics of a group of mechanical engineering students. The criteria and decisions were analyzed, searching for a solution related to sustainability, costs, quality, efficiency and, above all, responsibility and social conscience.*

Keywords: *Situated learning, case study, rubrics, thermal power plant, environment, responsibility and social conscience.*

Resumo: *Cada semestre, o professor enfrenta desafios para atingir o objetivo do processo de ensino e aprendizagem sobre seus súditos. Ao longo do tempo, diferentes estratégias que agora são aceitas e levantar as diferentes possibilidades em sala de aula, por exemplo, estudo de caso surgiu. Este artigo discute a aprendizagem com base em estudos de caso, em particular, o estudo de uma central térmica com tendência à obsolescência, a fim de facilitar a compreensão do conteúdo do assunto da termodinâmica na parte de um grupo de estudantes de engenharia mecânica. Discutidos os critérios e decisões na busca por uma sustentabilidade tangível de solução, custos, qualidade, eficiência e, acima de tudo, responsabilidade e consciência social.*

Palavras-chave: *Situado a aprendizagem, estudo de caso, rubricas, usina termelétrica, meio ambiente, responsabilidade e consciência social.*

Introducción

Como tendencia de actualidad, se apuesta por la tecnología; pero ¿qué hay de la conciencia social y el daño ecológico?: «*La aproximación de la ingeniería frente a la naturaleza, del siglo XIX y primera mitad del siglo XX, comenzó a transformarse con el surgimiento del ambientalismo como un movimiento global que se alimentó de la creación de una conciencia pública sobre el imperativo de proteger el medio ambiente, frente a la constatación de la existencia de graves problemas ambientales y la necesidad de actuar para enfrentarlos*» (Rodríguez, 2007, 59). Así como los ingenieros han sido responsables de avances tecnológicos y sus consecuencias sobre el medio ambiente, ahora les corresponde contribuir en la recomposición de lo descompuesto, superar el desbalance creado y controlar el propio futuro.

Dado que la Termodinámica es una asignatura que incide en la recomposición de muchos de los procesos involucrados con el avance industrial y tecnológico, y con el objetivo de que los estudiantes vincularan los conocimientos teóricos con la práctica, tomando además conciencia de su responsabilidad social como futuros ingenieros, se realizó hacia mediados del semestre del curso, un ejercicio de estudio de caso en el cual se analizó la situación de la Central Termoeléctrica Villa de Reyes, en el estado de San Luis Potosí en México, la cual ha llegado a los límites de obsolescencia.

Los estudiantes realizaron una visita de prácticas escolares a la referida central, en la cual pudieron observar la construcción de un ramal de gas natural para conversión del combustible⁵, ya que esta planta fue diseñada para operar con combustóleo pesado con contenido bajo de azufre, según Pemex (2011, 2) y operó bajo ese esquema durante muchos años. Este cambio motivó la investigación narrada en este artículo, para la cual los estudiantes consultaron libros de texto y fuentes electrónicas que les permitieran recabar la mayor información posible con el fin de perfilar las complejas vertientes del caso a estudiar. Como conclusión del ejercicio y del semestre, los estudiantes entregaron un portafolio de evidencias, conformaron equipos para realizar una presentación multimedia y fueron evaluados mediante una rúbrica.

5 El cambio de combustible, de acuerdo con El Financiero (2016), era ya una decisión tomada por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) propietaria de la empresa, habiéndose abierto una licitación para la construcción de un gasoducto, ganada en 2016 por Gas Natural de la Huasteca, propiedad de TransCanada.

1. Necesidades y estrategias educativas

La sociedad de la información y el conocimiento se caracteriza por el uso intensivo y extensivo de las Tecnologías de la Información y las Telecomunicaciones (TIC), además de las fuentes tradicionales de información y conocimiento, lo cual obliga a una transformación de las instituciones educativas, especialmente las universitarias, de manera que se permita a los estudiantes –futuros profesionales- ser capaces de manejar y aprovechar la cambiante y abundante información. Esa transformación necesariamente cobija todos los estamentos de la institución: directivos⁶, estudiantes⁷ y profesores⁸.

Es importante, en las instituciones de educación superior, espacios para cuestionar qué se enseña, porqué y para qué se hace, donde se considere el desempeño estudiantil en las aulas y en su ejercicio profesional, y enriquecerse con los puntos de vista no sólo de la comunidad educativa, sino también de los empleadores y, de manera importante, de los mismos estudiantes, haciéndolos partícipes de las estrategias y objetivos educativos.

En la mayoría de las universidades se ha propuesto el enfoque por competencias como estrategia para satisfacer las áreas de oportunidad que detectan los empleadores de los egresados, lo cual implica en primera instancia, trascender el discurso de las habilidades y objetivos, y llevarlo al terreno de las competencias como un saber hacer en situaciones concretas. Por ello, las instituciones de educación superior deben replantear su papel en la orientación de los recursos y estrategias hacia la formación de competencias. La misión de los tres protagonistas del proceso enseñanza-aprendizaje (institución educativa, profesores y estudiantes) debiera ser su constante valoración, con el fin

6 «De acuerdo con Arias y Cristia (2014), aunque para la exitosa integración tecnológica es indispensable el trabajo conjunto entre docentes y directores, junto a la motivación, liderazgo, capacitación y definición del papel de los directores, hay poca evidencia sobre las capacidades de los directores y pocas intervenciones dirigidas a los equipos directivos de las instituciones» (Vega, 2016, 27).

7 El estudiante «necesariamente debe comprender que es arquitecto dinámico, protagonista y responsable de su aprendizaje, que le implica "asumir comportamientos relacionados con la regulación individual (autoaprendizaje, autodisciplina, autoevaluación, etc.), el trabajo colaborativo, la creatividad e innovación para superar el uso de entretenimiento y ocio de las herramientas informáticas"» (Vega, 2016, 28).

8 «El rol del profesor se ha transformado en el nuevo escenario (caracterizado por la incorporación de las TIC unida al proceso centrado en el aprendizaje y el tratamiento interdisciplinario de la información): llegando a constituirse básicamente [2] en formar un alumno autónomo capaz de aprender a aprender (obtener y organizar información), distinguir hechos y ficciones (a partir de la valoración de fuentes, correlaciones, causalidades, afirmaciones y supuestos), identificar y desarrollar soluciones poco convencionales, formarse una opinión fundamentada y defenderla, resolver problemas de forma autónoma y tener un comportamiento responsable, o sea "más que enseñar, se trata de hacer aprender... de concentrarse en la creación, la gestión y la regulación de situaciones de aprendizaje" [2]» (Vargas & Vega, 2015, 45).

de formar estudiantes autónomos y autorregulados, preparados para las subsiguientes fases del aprendizaje y el desarrollo profesional, de acuerdo con Vargas (2008, 60).

Hoy, más que nunca, se constata el reto de la educación en la resolución de problemas reales, ante una realidad donde los recursos naturales han sido sobreexplotados al mismo tiempo que se observa una desigualdad en la calidad de vida del ser humano alrededor del planeta. Dewey (2004, 89), señala que las condiciones de la realidad son muy distintas a las del salón de clase, y es una creencia equivocada suponer que la destreza adquirida en él constituye por sí misma una preparación inmediata para la vida profesional.

Con respecto al desarrollo de responsabilidad y conciencia social en los estudiantes, frecuentemente en las carreras profesionales de las llamadas ciencias duras, se hace un esfuerzo por compensar posibles carencias incorporando asignaturas optativas relacionadas a las humanidades. Sin embargo, estas asignaturas corren el riesgo de estar descontextualizadas y ser percibidas como innecesarias por los estudiantes, que no alcanzan a comprender la necesidad de fortalecer su preparación profesional con criterios y competencias pertenecientes a las ciencias sociales y las humanidades.

Frente lo anterior, es necesario facilitar los contextos educativos en los cuales los estudiantes puedan relacionar más fácilmente los conocimientos adquiridos en las aulas, con el ejercicio profesional y su importancia en la resolución de problemas para el bienestar de la sociedad. Con ello, se garantiza que el estudiante obtendrá una perspectiva de su formación profesional que abarque no solamente los aspectos teóricos, técnicos y operativos, sino una perspectiva social.

1.1 Estudio de caso para el desarrollo del aprendizaje

Para Díaz-Barriga & Hernández (2010, 153-155), la enseñanza situada puede definirse como aquella propuesta pedagógica que se diseña y estructura con la intención de promover aprendizajes situados, experienciales y auténticos en los estudiantes, que les permita desarrollar habilidades y competencias muy similares a las que se encontrarán en situaciones de la vida cotidiana o profesional. Entre las propuestas de enseñanza situada, sobresale el planteamiento de aprendizaje basado en el estudio de casos.

El aprendizaje promovido a partir del estudio de casos, puede considerarse como *«un tipo concreto de aprendizaje basado en*

proyectos que incorpora procedimientos de indagación y puede ser de utilidad para el desarrollo de las dimensiones conceptual, procedimental y epistémica de la competencia científica» (Domènech, 2017, 5177). Según Stake, citado por Ruiz (2017, 238), existen tres modalidades del estudio de casos: - El estudio intrínseco de casos (cuyo propósito básico es la comprensión del caso en sí mismo), - El estudio instrumental de casos (para conseguir claridad sobre un tema o aspecto teórico), y - El estudio colectivo de casos (busca indagar, a partir de un conjunto de casos, un fenómeno, población o condición).

El estudio de caso⁹ es útil para que, mediante el análisis de una situación específica, los estudiantes investiguen y obtengan sus propias conclusiones y se vean enfrentados a debatir y analizar ideas. *«El estudio de casos (...), puede utilizarse proporcionando a los estudiantes, documentos y ejemplos para que a partir de ellos ofrezcan soluciones a un caso específico. Otra forma es que los estudiantes demuestren sus conocimientos mediante la construcción de un caso típico que ejemplifique e integre el saber que se le brindó»* (Vargas, 2008, 85).

1.2 La rúbrica como herramienta de evaluación

Según Díaz Barriga (2010, 218) la tarea de evaluación no es tan sencilla como pudiera parecer, por lo que diferentes recursos de evaluación pueden utilizarse dentro y fuera del salón de clase. Una rúbrica permite describir el grado en el que un estudiante ejecuta un proceso o producto y apreciar la mejora progresiva en niveles de competencia o pericia en un rango de posibles desempeños. La naturaleza de las rúbricas, facilita al profesor evaluar el tránsito de un nivel a otro. De este modo, la cuestión más importante que atiende la rúbrica como instrumento de valoración, es la calificación entre los distintos niveles de desempeño, novato, aprendiz y practicante, en su tránsito hacia la condición de experto.

De acuerdo con Díaz Barriga (2010, 342), algunas características importantes de las rúbricas como instrumentos de evaluación son:

- Son instrumentos de evaluación auténtica.
- Evalúan competencias complejas.
- Están basadas en criterios claros y coherentes.

⁹ *«En general se ha definido como la descripción y análisis detallados de unidades sociales o entidades educativas únicas, pero no es exclusivo del ámbito educacional»* (Ruiz, 2017, 235). *«Es relevante porque permite profundizar en la investigación, admite niveles de profundidad a partir del uso adecuado de recursos, puede ser retomado en el tiempo siempre que se entiendan las condiciones cambiantes, favorece el trabajo cooperativo»* (Ruiz, 2017, 237-238).

- Describen lo que será aprendido.
- Son esencialmente descriptivas.
- Ayudan a los alumnos a supervisar el proceso de su aprendizaje.

1.3 Una mente abierta significa mejores oportunidades

Se ha observado la conveniencia de trabajar la manera en la cual los estudiantes de ingeniería mecánica desarrollen una mente abierta y lateral, descentralizando el proceso de aprendizaje del mero hecho de memorizar datos. Una mente lateral *«enriquece todo quehacer que se construya desde, en, para y con los individuos, apelando a los principios del pensamiento intuitivo, requiriendo rescatar el pensamiento lateral más allá de la racionalidad; con dinámicas extra-verbales para activar improntas culturales, emocionales y biológicas»* (Ortiz & Chocce, 2015, 110). Por ello, López, Jerez & Encabo (2016, 202-203) se preguntan *«si el pensamiento lateral o la divergencia se convierten en una necesidad educativa, si al formar a las personas tenemos que incidir en estas dimensiones o conformarnos con la homogeneidad»*.

Considerando la complejidad del campo profesional actual, para lo cual es valioso el Informe del Estudio de Factibilidad¹⁰ (OECD, 2014) realizado por diferentes universidades, se observa en la industria automotriz, que de cinco de las carreras del Área Mecánica Eléctrica de la UASLP, los egresados se desenvuelven indistintamente en actividades afines, por lo que una persona con mente abierta tiene mayores oportunidades en la toma de decisiones.

En la reunión plenaria con los estudiantes, al final del proyecto, se concluyó que el conocimiento no es limitado de manera particular, sino que tiene aplicación práctica en varias disciplinas, siendo conveniente desarrollar un enfoque multidisciplinario, abierto y lateral para enfrentarse a problemas profesionales.

Según Freire, citado por Ocampo (2008, 57-72), el educador que conmina a la sumisión es aquel que *«deposita datos»* dentro de la cabeza de su estudiante, sin considerar absolutamente nada de la relación que los une en el salón de clase. El estudio de este caso real fue un esfuerzo para evitar esa *«educación bancaria»* y promover un verdadero diálogo en libertad, mediante el cual se manifestaran los distintos puntos de vista de los estudiantes.

¹⁰ Este es un proyecto internacional coordinado para Evaluar Resultados de Aprendizaje en la Educación Superior (*Assessment of Higher Education Learning Outcomes*) desde una perspectiva que incorpore la diversidad de culturas, idiomas y contextos educativos y con ello conocer las capacidades de los egresados.

2. Caso de estudio: una central termoeléctrica obsolescente

2.1 Especificaciones de la Central Termoeléctrica Villa de Reyes

La Central Termoeléctrica Villa de Reyes consiste de dos unidades generadoras de vapor en el ciclo Rankine recalentado-regenerativo para la producción de energía eléctrica de 350 MW cada una, cuyo consumo de combustible es, a plena carga para cada unidad, de 4000 por día de combustóleo. Vale la pena citar como ejemplo que la carga eléctrica de una ciudad conurbada de 1 millón de habitantes podía ser satisfecha en 2011 con la generación de 700MW. En la actualidad la carga demandada es mayor, estimándose un crecimiento del 4.1% anual de 2014 a 2028.

Actualmente está en proceso el equipamiento de gas natural en las calderas en un sistema que se conoce como combustión dual, es decir que puede utilizar tanto combustóleo como gas natural, según la disponibilidad de uno o de otro. Se desconocen con precisión los efectos adversos que surjan en los constituyentes de la caldera por la quema del gas natural, cuyo poder calorífico es mayor que el del combustóleo, tomando en cuenta que éste ha sido quemado durante 46 años.

La central ha sufrido modificaciones hacia su modernización, sin embargo, el equipo principal (generador de vapor o caldera, turbina, condensador y bombas de recirculación) es prácticamente el original. La eficiencia energética de la planta es de 32-38% en promedio según su producción de electricidad en el rango de 160-350 MW cada unidad.

Las nuevas centrales termoeléctricas son del tipo combinado, que incorporan los ciclos Rankine y Brayton¹¹, brindando una eficiencia ideal del 52-60% según la carga generada. Se pudiese adaptar el equipo de ciclo combinado a la planta antigua, sin embargo, por la experiencia obtenida en una central semejante que fue reconvertida (Manzanillo II en la costa del Pacífico), los resultados no han sido del todo satisfactorios.

2.2 Justificación del ejercicio de investigación

En el caso específico del curso de Termodinámica, sus contenidos están relacionados con el manejo de términos que, por su naturaleza, deben ser estudiados bajo complejos modelos teóricos, lo cual hace que los

11 Lima, Gimenez & Waitman (2017, 360), señalan que: - Lobo considera el ciclo Brayton como una etapa más desarrollada que el ciclo Rankine; y - el ciclo combinado es el empleo de los dos ciclos, donde, para Zanichelli, la combinación más empleada es el ciclo Brayton como unidad superior *topping* y el ciclo Rankine como unidad inferior *bottoming*.

estudiantes perciban dichos conceptos como totalmente desvinculados de la práctica.

Dentro de los contenidos de la asignatura, las cuestiones básicas que corresponden a los conceptos de sustancias puras o de trabajo, como el aire y el agua, pueden causar confusiones que repercutirán en la comprensión de temas posteriores. Es común que a los estudiantes se les dificulte la interpretación y manejo de ambas sustancias debido a que, en los ejercicios de termodinámica, el aire responde a la ecuación general de los gases y el agua manifiesta un comportamiento diferente. El correcto manejo de las propiedades de las sustancias de trabajo, aseguran Cengel & Boles (2012, 491-558), es esencial en el estudio de los procesos y ciclos termodinámicos.

Con el fin de facilitar la comprensión de estos temas, vinculándolos con el quehacer de la ingeniería, se realizó una visita de prácticas escolares a la central termoeléctrica de Villa de Reyes. Durante ella, se comentó acerca del proyecto de quemar gas natural, al menos al 84% de metano y acorde con la Norma Oficial Mexicana (Comisión Reguladora de Energía, 2010, 14), en lugar de combustóleo, que se ha utilizado desde la apertura de la termoeléctrica en 1970, con el objetivo de incrementar la eficiencia y emitir una menor cantidad de contaminantes a la atmósfera (Figura 1).



Figura 1. Central termoeléctrica Villa de Reyes

La central está en proceso de modificaciones debido a su antigüedad, al diseño original para la utilización exclusiva de combustóleo y a la cantidad y calidad del agua que se emplea para la producción del vapor de proceso y para el enfriamiento de los equipos. Específicamente el tema del agua ha sido duramente criticado en una zona de México donde escasea. En inicio, esta agua se tomaba del acuífero de Villa de Reyes y al considerarse que contribuía enormemente a su sobreexplotación (CEA SLP, s.f.), en el año de 2015, la CFE firmó un acuerdo con el Gobierno del Estado de San Luis Potosí, para la utilización en sus procesos del agua de tratamiento del Tanque Tenorio, a una razón de 100 litros por segundo (La Jornada San Luis, 2015).

Estos cambios se llevaron a cabo en un contexto de tensión debido a la polémica aprobación de la Reforma Energética en México¹². Por lo anterior, se consideró abordar en clase la situación por la que atravesaba la central termoeléctrica, al considerar que las distintas variables que intervenían enriquecerían el intento de analizar el caso desde un punto de vista práctico y multidisciplinario.

Se planteó a los estudiantes la necesidad de realizar una investigación relacionada al uso de los dos combustibles en el esquema de la combustión dual, lo cual requeriría comparar la eficiencia de los ciclos termodinámicos involucrados, las implicaciones en el mantenimiento de los equipos y la capacitación del personal. Se solicitó llevar a cabo la investigación sin dejar de lado los cambios que sucederían a raíz de la Reforma Energética, tanto en el aspecto operativo como en el social, en un intento de comprender el futuro que enfrentará la industria eléctrica y de hidrocarburos en México.

2.3 Parámetros del ejercicio, entregables y evaluación

Para el desarrollo de la actividad, se conformaron cinco equipos de cinco participantes. Los cuestionamientos propuestos para el desarrollo de la investigación, cubren los aspectos determinantes tanto para reafirmar la asignatura de termodinámica como para vincular los conocimientos teóricos con el ejercicio de la ingeniería, desde un punto de vista técnico y social. Este enfoque

12 «El presidente Enrique Peña Nieto promulgará las leyes que abrirán el sector energético a la inversión privada, 76 años después de la expropiación petrolera realizada por Lázaro Cárdenas. Desde que el jefe del Ejecutivo presentó su iniciativa de reforma el pasado 12 de agosto, se cumplirá un año de discusiones en la Cámara de Diputados y en el Senado sobre las leyes a modificar, las nuevas que se crearon, los riesgos que pueden llevar, los argumentos de la oposición y, sobre todo, de qué tamaño será el impacto en la economía del país y cuánto tiempo tardará en surtir efecto» (Muciño, 2014).

constituye el camino para comprender los problemas económicos e industriales de la sociedad presente. Los aspectos mínimos solicitados en la investigación desarrollada por los estudiantes, fueron los siguientes:

- Implicaciones de seguir operando la planta en obsolescencia.
- Impacto ambiental de la planta actual.
- Funcionamiento de los ciclos Rankine, Brayton y Combinado.
- Adaptación de la central antigua al nuevo ciclo combinado.
- Consideraciones de la Reforma Energética para la toma de decisiones.
- Fuentes alternativas de generación de energía eléctrica.

Para reflexionar sobre las alternativas de operación de la planta, considerando la viabilidad de seguir operando la central en proceso de obsolescencia o adaptar la central para el sistema dual de combustible, en cada clase se destinó un espacio para el análisis de los descubrimientos de los estudiantes y para clarificar posibles dudas, fomentando el diálogo de los distintos puntos de vista.

Al final de la actividad, coincidente con el término del semestre, los estudiantes realizaron una exposición frente al resto del grupo, con el objetivo de exponer los resultados de sus trabajos de investigación y llegar a conclusiones grupales. Se solicitó un documento de investigación para formar el dossier o portafolios de evidencias de la investigación realizada y las conclusiones individuales y grupales.

Para evaluar el ejercicio realizado, se decidió implementar una rúbrica para determinar el desarrollo de las competencias relacionadas a los puntos clave solicitados en la investigación y observar la capacidad de analizar tanto los aspectos teóricos como los aspectos prácticos de la operación de las centrales eléctricas con relación al curso de termodinámica.

En la Tabla 1, puede observarse la rúbrica de evaluación que, para cada aspecto solicitado en la investigación, se contemplan los resultados obtenidos clasificándolos en cuatro categorías, siendo la de menor relevancia la propuesta del novato y la más relevante la equivalente a experto.

Tabla 1. Rúbrica para evaluar el análisis de casos

Condición	Propuesta de solución			
	Novato	Aprendiz	Practicante	Experto
1. Propuesta para satisfacer la creciente demanda eléctrica con una planta obsoleta.	Continuar con la operación de la central hasta la total obsolescencia.	Conversión a gas natural para intentar satisfacer la demanda.	Conversión a gas natural y adaptaciones para ampliación.	Estudiar la combustión dual, gas natural, combustóleo y adaptaciones para ampliación.
2. Descripción del ciclo de potencia Rankine.	Descripción de Ciclo Rankine básico ideal 26 % de eficiencia.	Descripción de ciclo Rankine recalentado ideal de 33% de eficiencia.	Descripción de ciclo Rankine recalentado y regenerativo ideal. 35% eficiencia	Descripción de ciclo Rankine recalentado y regenerativo real de 43% eficiencia
3. Impacto ambiental de la central termoelectrónica actual.	Describe el impacto ambiental por los humos a la atmósfera y el uso de agua.	Propone disminución del impacto ambiental por reducción de humos.	Contempla modificaciones para mejorar combustión y utilizar aguas tratadas.	Considera la variabilidad en impacto ambiental por combustión dual.
4. Descripción del ciclo combinado para generación.	Descripción del ciclo Brayton de gas como ciclo superior con eficiencia de 40%.	Descripción del ciclo Rankine para generación como ciclo inferior con eficiencia del 26-33%	Descripción del ciclo combinado Brayton-Rankine con eficiencia del 56%	Descripción del ciclo combinado recalentado-regenerativo con eficiencia del 60%
5. Adaptación del ciclo combinado para generación en la Central Villa de Reyes.	Prevalecen los conceptos teóricos sin hacer más investigación.	Reflexiona acerca de la maquinaria y equipo necesario para las adaptaciones.	Considera costos de incorporación de equipo adicional a la planta antigua para mejorar capacidad y eficiencia.	Sopesa costos de adaptación versus construcción de nueva central.
6. Investigación de la Reforma Energética y sus implicaciones.	Describe la separación de actividades de transmisión y distribución de energía eléctrica de las actividades de generación eléctrica.	Visualiza a la CFE, actual propietario de la central Villa de Reyes, como organismo distribuidor de energía eléctrica.	Anticipa que la obsolescencia de la central de Villa de Reyes la convertirá en poco atractiva para generación de energía eléctrica con respecto a energía verde.	Propone la operación de la central Villa de Reyes con gas natural y modificaciones hasta su completa obsolescencia, para competir por el mejor costo de producción
7. Investigación de fuentes alternativas de producción de energía eléctrica.	Simple descripción teórica de fuentes alternativas de producción de energía eléctrica.	Descripción más completa de las fuentes alternativas de producción de energía eléctrica.	Investiga las fuentes alternativas de producción de energía eléctrica pertinentes al caso para reducir los efectos de la contaminación.	Investiga fuentes alternativas de producción de energía eléctrica reduciendo efectos de la contaminación considerando equipos necesarios y costo.

2.4 Resultados

La investigación realizada por los estudiantes comprendió el trabajo en el aula así como tareas en casa en equipos colaborativos. En el aula, se realizaron presentaciones multimedia para que todo el grupo participase de las investigaciones de sus compañeros, propiciando la comunicación entre los participantes. Se trató de hacer hincapié en el involucramiento de los estudiantes en los aspectos sociales de su profesión y en el manejo del lenguaje en los aspectos políticos, sociales

y económicos, ya que la Ingeniería no actúa sola en la transformación del mundo, sino que *«las opiniones de políticos así como la percepción comunitaria tienen demasiada influencia sobre la suerte de los proyectos que se someten al sistema»* (Toro, 2015, 71).

Se instó a los estudiantes a hacer uso de la tecnología para la documentación, poniendo especial atención a la discriminación de la información útil de la no útil. Era importante que los estudiantes se convencieran de la importancia de saber aprovechar los medios que tienen a su alcance para estar mejor conectados e informados, y no sólo para el uso de las redes sociales con fines ocio.

Es necesario mencionar que, mediante sus investigaciones y las rondas de exposiciones ante grupo, los estudiantes adquirieron una nueva perspectiva acerca del impacto de la tecnología, la ingeniería y la actividad humana en general, sobre el medio ambiente. La frase de una lectura en particular llamó la atención de los estudiantes: «el gas natural no detiene las emisiones de CO₂» (Greenpeace, 2008). En primera instancia, pensaron que el cambio de combustóleo a gas natural resolvería el aspecto de la contaminación. A pesar de todos los cambios estudiados para la modificación del sistema de generación de energía eléctrica, se entendió que no era la solución ideal que se esperaba, y que la actividad humana siempre tenderá a imprimir una huella en el medio ambiente.

Con relación a los resultados obtenidos en la rúbrica utilizada para evaluar, con el fin de cumplir con la evaluación numérica solicitada por la universidad para calificar el curso, se asignó un valor numérico a la condición de novato, aprendiz, practicante y experto. En la Tabla 2 se muestra el resumen de las evaluaciones para los cinco equipos de estudiantes.

Tabla 2. Resultados obtenidos por grupo

Equipo	Resultados obtenidos de acuerdo a la rúbrica propuesta de evaluación			
	Novato 0.0-2.5	Aprendiz 2.6-5.0	Practicante 5.1-7.5	Experto 7.6-10.0
Equipo 1	-	-	6.0	-
Equipo 2	-	-	-	7.8
Equipo 3	-	-	6.2	-
Equipo 4	-	-	7.2	-
Equipo 5	-	-	-	8.2

Los resultados obtenidos en la rúbrica, arrojan que los estudiantes manifestaron un dominio a nivel practicante y experto, lo cual teoría puede considerarse como suficiente o bien encaminado para que

todos los estudiantes adquieran un desempeño a nivel de experto. Sin embargo, al incorporar una calificación numérica asociada a los cuatro niveles de desempeño, puede distinguirse una brecha importante entre los estudiantes del equipo 1 y los estudiantes del equipo 5, lo cual plantea un nuevo reto en próximas aplicaciones de este ejercicio de estudio de caso, con el fin de cerrar posibles brechas significativas en el desempeño de los estudiantes, poniendo atención a posibles rezagos.

Con el fin de contrastar el caso estudiado de la Central Termoeléctrica de Villa de Reyes, fue posible organizar una visita escolar de cierre de curso a la Central de Ciclo Combinado de San Luis de la Paz en el estado de Guanajuato, como se observa en la Figura 2.



Figura 2. Estudiantes en visita la Central de Ciclo Combinado

Las impresiones iniciales de los estudiantes al comparar ambas centrales, se enfocaron en el penacho intenso de humos de combustión producto de la quema de combustóleo, mientras que en la segunda central prácticamente no se observan humos. En un análisis posterior, ellos mismos concluyeron que la comparación debiera considerar otros

aspectos debido a los años de servicio de ambas plantas; la primera, paraestatal con 46 años de servicio y la segunda de capital privado con antigüedad de tres años solamente.

3. Conclusiones

El lector puede darse cuenta de que la investigación ha sido múltiple y variada, tanto para afirmar el aprendizaje científico de la asignatura Termodinámica, como para explorar otros conocimientos que inciden en la toma de decisiones en un caso complejo.

Con respecto al aprendizaje de los contenidos de la asignatura de Termodinámica, se considera que el hecho de que los estudiantes vieran la importancia que tienen en la práctica aquellos conceptos estudiados en el aula, logró tender un puente entre contenidos aparentemente teóricos y desarticulados, y la comprensión de éstos en un contexto real, revistiéndolos de un enfoque e importancia renovados.

Además, pudo observarse que la realización del estudio del caso de la termoeléctrica involucró de manera efectiva a los estudiantes, fomentando su creatividad en la investigación, ejercitando la comunicación de sus propias ideas y conclusiones, y ampliando el criterio de cómo se resuelven situaciones cotidianas en el ejercicio de la ingeniería, y cómo inciden aspectos a los cuales, sobre todo por parte de los estudiantes de ingeniería, no se les presta suficiente atención, como los aspectos ambientales, políticos y sociales.

Quizá lo más valioso del ejercicio narrado en este artículo, haya sido que consiguió movilizar a los estudiantes de sus respectivas áreas de confort hacia la exploración de otros campos que inciden en su especialidad. Con frecuencia, los estudiantes de ingeniería exclusivamente aplican teorías y cálculos matemáticos para la resolución de los problemas planteados sin considerar una mirada holística e integradora, puesto que en el campo laboral no siempre pueden resolverse desde un único enfoque aislado del contexto.

Este ejercicio ha sido una experiencia gratificante, como las muchas que ofrece el sistema universitario. La satisfacción de los resultados y la interrogante de las cosas que pudieron mejorarse, motiva al docente a seguir trabajando en la mejora de cada experiencia frente a grupo.

Referencias bibliográficas

- CENGEL, Yunus A. & BOLES, Michael A. (2012). Termodinámica. 7 ed. México (México): Mc GrawHill/Interamericana Editores, SA de CV. 1028 p. ISBN: 978-0-07-352932-5
- COMISIÓN ESTATAL DEL AGUA DE SAN LUIS POTOSÍ, CEASLP (s.f.) Plan Integral de Saneamiento [en línea]. San Luis Potosí (México): CEASLP <<http://www.colsan.edu.mx/investigacion/aguaysociedad/proyectoaguaSLP/Documentos/PlanIntegraldeSaneamiento.pdf>> [consulta: 13/05/2018]
- COMISIÓN REGULADORA DE ENERGÍA (2010). Norma Oficial Mexicana. NOM-001-SECRE-2010: Especificaciones del gas natural [en línea]. México (México): Diario Oficial (19/03/2010). P. 13-21. <<http://www.gas.pemex.com/NR/rdonlyres/7215BE19-3A18-408E-8897-70079A626BE4/0/NOM001SECRE2010.pdf>> [consulta: 25/05/2017].
- DEWEY, John (2004). Experiencia y educación. Madrid (España): Biblioteca Nueva. 128 p. ISBN: 978-84-9742-108-9
- DÍAZ-BARRIGA ARCEO, Frida & HERNÁNDEZ ROJAS, Gerardo (2010). Estrategias docentes para un aprendizaje significativo. 3 ed. México (México): Mc Graw Hill. 420 p. ISBN: 978-607-15-0293-3
- DOMÈNECH-CASAL, Jordi (2017). Aprendizaje basado en proyectos y competencia científica: experiencias y propuestas para el método de estudios de caso [en línea]. En: Enseñanza de las Ciencias, No Extra (X Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias). Barcelona (España): Universitat de València - Universitat Autònoma de Barcelona, p. 5177-5183. e-ISSN: 2174-6486 <<https://ddd.uab.cat/record/183112>> [consulta: 27/02/2018]
- EL FINANCIERO (2016). TransCanada gana gasoducto Tula-Villa de Reyes Saneamiento [en línea]. México (México): El Financiero. Economía (08/04/2016). <<http://www.elfinanciero.com.mx/economia/transcanada-gana-gasoducto-tula-villa-de-reyes.html>> [consulta: 12/05/2018].
- GREENPEACE (2008). Energía termoeléctrica: generadora de gases de efecto invernadero [en línea]. México (México). <<https://www.greenpeace.org/mexico/Global/mexico/report/2008/7/energ-a-termoelectrica-genera.pdf>> [consulta: 14/05/2018].
- LA JORNADA SAN LUIS (2015). Contrata CFE agua de tanque tenorio para planta termoeléctrica de Villa de Reyes [en línea]. San Luis Potosí (México): Desarrollo Regional de Medios. Política y Sociedad (07/07/2015). <<http://lajornadasanluis.com.mx/politica-y-sociedad/contrata-cfe-agua-de-tanque-tenorio-para-planta-termoelectrica-de-villa-de-reyes/>> [consulta: 13/05/2018].
- LÓPEZ VALERO, Amando; JEREZ MARTÍNEZ, Isabel & ENCABO FERNÁNDEZ, Eduardo (2016). Aproximación educativa ante los nuevos formatos narrativos [en línea]. En: Revista Chilena de Literatura, No. 94 (dic). Santiago (Chile): Universidad de Chile. p. 197-214 e-ISSN: 0718-2295 <<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-22952016000300010>>, <<https://scielo.conicyt.cl/pdf/rchilite/n94/art10.pdf>> [consulta: 12/05/2018]
- MUCIÑO, Francisco (2014). Los 18 puntos que debes saber de la reforma energética [en línea]. En: Forbes, Economía y Finanzas (16/08/2014). México (México): Forbes. <<https://www.forbes.com.mx/los-18-puntos-que-debes-saber-de-la-reforma-energetica/>> [consulta: 13/05/2018]
- OCAMPO LÓPEZ, Javier (2008). Paulo Freire y la pedagogía del oprimido [en línea]. En: Revista Historia de la Educación Latinoamericana, núm. 10. Boyacá (Colombia): Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. p. 57-72. ISSN: 0122-7238. <<http://www.redalyc.org/pdf/869/86901005.pdf>> [consulta: 25/05/2017].
- LIMA DE OLIVEIRA, Lucas; GIMENEZ NEVES, Gustavo & WAITMAN, Pedro Luís (2017). Estudo sobre cogeração de energia elétrica no setor sucroalcooleiro [em línea]. Em: Revista Eletrônica de Graduação, Regrad, Vol. 10, No. 1 (Out). Marília (SP): UNIVEM. p. 354-365. <<http://www.revista.univem.edu.br/REGRAD/article/view/2071>> [consulta: 15/02/2018]
- ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICOS, OECD (2014) Testing student and university performance globally: OECD's AHELO [online]. Paris (France): OECD. <<http://www.oecd.org/education/skills-beyond-school/testingstudentanduniversityperformancegloballyoecdshello.htm>> [consult: 13/05/2018].
- ORTIZ ESAINE, Nicolás M. & CHOCCÉ SILVA, Marlene E. (2015). Formación de competencias creativas en la gestión de negocios [en línea]. En: Revista Digital de Investigación en Docencia Universitaria, RIDU, Vol. 9, No. 2 (jul-dic). Lima (Perú): Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas p. 105-114. ISSN: 2223-2516 <<http://dx.doi.org/10.19083/ridu.9.423>>, <<http://revistas.upc.edu.pe/index.php/docencia/article/view/423/403>> [consulta: 10/05/2018]
- PETRÓLEOS MEXICANOS, PEMEX (2011). Hoja de datos de seguridad: Combustóleo Pesado Núm. Versión: 4 NOM-018-STPS-2000 [en línea]. México (México): Pemex (17/11/2011). 11 p. <<http://www.pemex.com/comercializacion/productos/HDS/refinados/HDSS-405%20Combustoleo%20Pesado.pdf>> [consulta: 25/05/2017].
- RODRÍGUEZ BECERRA, Manuel (2007). Ingeniería y medio ambiente [en línea]. En: Revista de Ingeniería, No. 26 (jul-dic). Bogotá (Colombia): Universidad de los Andes. p. 55-63. ISSN: 0121-4993 <<http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n26/n26a8.pdf>>, <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-49932007000200008> [consulta: 20/02/2018]
- RUIZ ROJAS, Lena Ivannova (2017). Metodología, mediante procesos virtuales masivos, para la función pública ecuatoriana [en línea]. Tesis doctoral (Doctor en TIC en educación: análisis y diseño de procesos, recursos y prácticas formativas).

- Salamanca (España): Universidad de Salamanca. 396 p. <<https://repositorio.grial.eu/bitstream/grial/976/1/TESIS%20DOCTORALVF-Sin%20anexos.pdf>> [consulta: 12/05/2018]
- TORO LABBÉ, Ignacio (2015). El rol de la ingeniería y la investigación en ingeniería en el proceso de licenciamiento ambiental, estudio de caso en Chile [en línea]. En: Revista de Ingeniería, No. 43 (jul-dic). Bogotá D.C. (Colombia): Universidad de los Andes. p. 71-77. ISSN: 0121-4993 <<http://dx.doi.org/10.16924/riua.v0i43.904>>, <<http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n43/n43a12.pdf>> [consulta: 13/05/2018]
- VARGAS GARCÍA, Dolly & VEGA, Omar Antonio (2015). Acercamiento al perfil de uso de TIC por docentes en el sector rural colombiano [en línea]. En: Redes de Ingeniería, Vol. 6, No. 2 (jun-dic). Bogotá (Colombia): Universidad Distrital Francisco José de Caldas. p. 44-53. ISSN: 2248-762X <<http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.redes.2015.2.a05>>, <<https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/REDES/article/view/9114/11343>> [consulta: 28/02/2018]
- VARGAS LEYVA, María Ruth (2008). Diseño curricular por competencias. México (México): Asociación Nacional de Facultades y Escuelas de Ingeniería. 89 p. ISBN: 978-607-95035-0-5
- VEGA, Omar Antonio (2016). De las TIC en la educación a las TIC para la educación [en línea]. En: Revista Vector, No. 11 (ene-dic). Manizales (Colombia): Universidad de Caldas. p. 24-29. ISSN: 1909-7891 <http://vector.ucaldas.edu.co/downloads/Vector11_4.pdf> [consulta: 22/02/2018]