



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

Proyecto de Innovación

Convocatoria 2022/2023

Nº de proyecto: 375

Elaboración de tutorías basadas en casos en la asignatura de Termodinámica
Aplicada

Responsable del proyecto: Julián García González

Facultad de Ciencias Químicas

Departamento de Ingeniería Química y de Materiales

1. Objetivos propuestos en la presentación del proyecto

El objetivo principal del proyecto propuesto es que el estudiante desarrolle las competencias de cálculo ingenieril necesarias para superar la asignatura Termodinámica Aplicada a través de un aprendizaje basado en casos, además de aquellas otras competencias transversales necesarias a lo largo del Grado en Ingeniería Química, e incluso de algunas de las que pudieran requerir durante su trayectoria profesional, como son:

1. Identificar las necesidades de información para resolver un problema.
2. Localizar las fuentes de información.
3. Comprender y aprender los contenidos de esas fuentes.
4. Determinar cómo utilizar las herramientas disponibles para resolver un problema.
5. Establecer una estrategia de resolución de un problema.

Además, la aplicación de una metodología de aprendizaje basado en casos permite mejorar las competencias de los estudiantes en el diseño de procesos, como ya se demostró en el proyecto de innovación del que esté ha sido continuación. No obstante, para este proyecto se han propuesto los siguientes objetivos específicos:

1. Determinar las posibilidades docentes de las herramientas Microsoft Excel y CoolProp dentro de la asignatura Termodinámica Aplicada y, en concreto, su empleo en la resolución de casos prácticos.
2. Desarrollar los casos prácticos que constituyen el núcleo del proyecto.
3. Desarrollar un procedimiento de implantación de los materiales desarrollados para su posterior utilización.
4. Evaluar el grado de satisfacción de los estudiantes y docentes con esta nueva metodología. Desarrollar un plan de seguimiento y mejora del proyecto.
5. Difundir los resultados obtenidos a través de congresos y publicaciones docentes generales y específicas del área de Ingeniería Química.

2. Objetivos alcanzados

A continuación, se analiza el grado en que se han alcanzado los objetivos planteados en la solicitud de este Proyecto de Innovación.

Como principal objetivo del proyecto se han desarrollado ocho casos de aprendizaje relacionados con ciclos termodinámicos de potencia, vapor y gas, y de refrigeración. Estos casos se han dividido a su vez en varios subcasos que los estudiantes debían de resolver de manera secuencial. De forma general, los casos planteados siguieron la siguiente estructura:

- Caso inicial: En primer lugar, se planteó un caso inicial o básico que los estudiantes debían de resolver. Este caso se utilizó como base para el resto de los subcasos. En muchos de los casos planteados, este primer ejercicio se estableció a partir de un ciclo termodinámico sencillo y/o idealizado.
- Caso real: En segundo lugar, se planteó a los estudiantes un ejercicio que aumentará la complejidad del caso inicial, sustituyendo operaciones idealizadas y/o planteando un segundo ciclo termodinámico real.
- Optimización de los casos planteados: En este tercer ejercicio se planteó a los estudiantes partir de un caso real en el que las condiciones de operación establecidas en el enunciado eran fijas y debían optimizar el ciclo termodinámico considerando una o varias variables de operación, especificando restricciones de operación, que en algunos casos se indican en el enunciado y en otros debían suponerse de forma lógica (en base a la teoría explicada); se estableció también una función objetivo que se debía de optimizar (maximizar, minimizar o alcanzar un valor determinado). En algunos de los casos propuestos se incluyeron conceptos típicos de la Ingeniería Química, de forma introductoria para asignaturas futuras, como la Ingeniería de Procesos que deberán cursar en el 3^{er} curso del Grado en Ingeniería Química. El que quizá fue más interesante, y constituyó una continuación del ejercicio previo, fue la optimización multivariable, de forma que los estudiantes aprendieron que en el desarrollo de su actividad profesional la optimización de un proceso dependerá de varias variables y respuestas de interés, cuya importancia se ha de ponderar cuando se establezca una función objetivo.
- Cuestiones: En todos los casos elaborados se plantearon unas cuestiones finales, de forma que se evaluó la comprensión y los conocimientos alcanzados por los estudiantes a través de la resolución de los ejercicios planteados en cada caso.

A través del aprendizaje basado en casos los estudiantes han podido desarrollar las competencias transversales incluidas como parte del objetivo principal del proyecto:

- Identificar las necesidades de información para resolver un problema, localizar las fuentes de información y comprender y aprender los contenidos de esas fuentes: En los casos propuestos, los estudiantes tuvieron que emplear la bibliografía incluida en los enunciados, para poder comprender los ciclos termodinámicos y comparar los resultados obtenidos con ciclos estudiados en artículos de investigación y/o procesos establecidos industrialmente.
- Determinar cómo utilizar las herramientas disponibles para resolver un problema: Los estudiantes tuvieron que conocer y aprender a utilizar las funciones disponibles en la librería de propiedades termodinámicas CoolProp, que fue instalada en Microsoft Excel para determinar propiedades termodinámicas de los fluidos empleados en los ciclos estudiados.
- Establecer una estrategia de resolución de un problema: A medida que aumentaba la dificultad de resolución de los ejercicios planteados en cada caso, los estudiantes tuvieron que resolver problemas de forma iterativa; optimizar los procesos en base

a una función objetivo, determinando las restricciones requeridas para su correcta resolución; y, finalmente, determinar el valor máximo o mínimo de las respuestas consideradas en el análisis multivariable para normalizar tanto las variables ponderadas como la propia función objetivo (empleando Microsoft Excel Solver para llevar a cabo todas estas tareas).

A continuación, se enumeran los objetivos específicos propuestos en el proyecto y en qué grado se han completado:

1. Determinar las posibilidades docentes de las herramientas Microsoft Excel y CoolProp dentro de la asignatura Termodinámica Aplicada y, en concreto, su empleo en la resolución de casos prácticos: Se ha empleado extensivamente el complemento CoolProp en conjunto con Microsoft Excel. Su empleo en la resolución de casos prácticos sobre ciclos termodinámicos fue muy extenso, sólo limitado por el número de compuestos para los que el complemento permite determinar propiedades termodinámicas. Este objetivo se ha alcanzado en su totalidad, es más, se ha superado al incluir el empleo de la herramienta Solver incluida en Microsoft Excel en el planteamiento y resolución de los casos prácticos.
2. Desarrollar los casos prácticos que constituyen el núcleo del proyecto: Se han desarrollado una totalidad de 8 casos prácticos complejos, es decir, que a su vez incluían un número de entre 3 y 4 subcasos secuenciales de complejidad creciente. De este modo, se considera completado este objetivo específico.
3. Desarrollar un procedimiento de implantación de los materiales elaborados para su posterior utilización: Los materiales elaborados se han implantado dentro de la asignatura como actividades evaluables, suponiendo su resolución hasta un 15 % de la calificación final de la asignatura. Más allá de esto, la aceptación ha sido notable entre los estudiantes. De este modo, se considera que el objetivo se ha cumplido al 100 %.
4. Evaluar el grado de satisfacción de los estudiantes y docentes con esta nueva metodología. Desarrollar un plan de seguimiento y mejora del proyecto: El grado de satisfacción de los estudiantes se ha evaluado a través de encuestas directas, así como durante el curso de forma oral en el aula a través de preguntas sobre su utilidad, dificultad, idoneidad, etc. Estas mismas encuestas sirven para identificar las fortalezas y flaquezas de los casos propuestos, de forma que se puedan identificar las mejoras necesarias para que el proyecto tenga una continuidad en cursos posteriores.
5. Difundir los resultados obtenidos a través de congresos y publicaciones docentes generales y específicas del área de Ingeniería Química: Hasta la fecha, se ha presentado una comunicación oral al VI Congreso de Innovación Docente en Ingeniería Química, CIDIQ VI, celebrado en la UCM en julio del 2022. A lo largo del próximo curso se prevé enviar un artículo docente a una revista internacional específica, una vez completado el proyecto y valorados en su justa medida todos los resultados del proyecto.

3. Metodología empleada en el proyecto

Para conseguir los objetivos planteados en este proyecto, se ha empleado una metodología que ha comprendido cinco fases, con sus correspondientes actividades, que se distribuyeron en el tiempo disponible durante el primer y segundo cuatrimestre del curso 2022/2023:

- I. Inicio: En esta fase del proyecto se ha definido su alcance y analizado la viabilidad de su realización dentro de la asignatura de Termodinámica Aplicada del segundo curso del Grado en Ingeniería Química, procediéndose a la selección de los casos de estudio de ciclos termodinámicos de potencia y refrigeración que tuviesen cabida dentro de la programación docente de dicha asignatura.
- II. Planificación: En esta fase los miembros del proyecto definieron las actividades a realizar y los recursos necesarios para llevar a cabo el proyecto. Así, se seleccionó la bibliografía básica que permitiría a los estudiantes documentarse sobre los ciclos termodinámicos que se iban a analizar. Se decidió como se evaluaría la comprensión de los ciclos termodinámicos que los estudiantes tendrían que analizar. Se elaboraron los enunciados de los casos que los estudiantes tendrían que realizar. Se desarrollaron las plantillas de los libros de cálculo en Microsoft Excel para la resolución de los casos, que sirvieran como base sobre la que los estudiantes pudieran iniciar la optimización de los ciclos termodinámicos de potencia y refrigeración. Y, por último, se elaboraron unas normas básicas para la presentación del informe de resultados por parte de los estudiantes.
- III. Ejecución: En esta fase fue donde los estudiantes emplearon los conocimientos adquiridos en las clases de la asignatura de Termodinámica Aplicada para llevar a cabo las actividades que los profesores habían planificado en la fase II. Los estudiantes tuvieron que estudiar los ciclos de potencia y refrigeración propuestos en base a la bibliografía que se les suministro, calcular estos mediante el libro de Excel que se les suministro y analizar los resultados alcanzados respondiendo al cuestionario final que se les propuso.
- IV. Seguimiento: Esta fase comprendió los procesos necesarios para realizar el seguimiento, revisión y monitorización del progreso de los estudiantes en las actividades de ejecución del proyecto. Por tanto, se realizó de forma paralela a la fase de ejecución. Fue el medio de detectar desviaciones con la máxima premura posible, para así poder identificar las actividades en las que pudiera ser requerido un cambio en la planificación.
- V. Cierre: El objetivo de esta fase ha sido completar formalmente el proyecto y establecer que el mismo concluyó mediante la realización de este informe final

4. Recursos humanos

El proyecto de innovación ha sido realizado por el grupo descrito en la solicitud del proyecto, compuesto por profesores del Departamento de Ingeniería Química y de Materiales e investigadores pre y posdoctorales.

Las tareas del proyecto las han llevado a cabo todos los miembros del grupo de acuerdo con la metodología planteada y la organización descrita en la solicitud del proyecto, siendo dirigidas cada una de ellas por los correspondientes responsables. El coordinador del proyecto ha sido el coordinador del desarrollo de éste a lo largo de su duración, realizando reuniones de seguimiento con los responsables de cada una de las tareas, además de dirigir aquellas que se le asignaron en la programación del proyecto.

Los miembros del proyecto se han distribuido en la realización de las tareas planteadas en función de su experiencia docente y de su conocimiento de las herramientas informáticas utilizadas. Los investigadores pre y posdoctorales han sido fundamentales debido a su experiencia reciente como estudiantes de grado y máster y sus colaboraciones en la docencia del Departamento.

5. Desarrollo de las actividades

Las actividades se han desarrollado durante el curso académico 2022/2023, de acuerdo con el cronograma indicado en la solicitud de este proyecto de innovación, siguiendo el plan de trabajo de cinco fases descrito en el punto 3 de esta memoria, con sus correspondientes actividades que pasan a describirse a continuación.

1. Inicio del proyecto: Esta tarea se realizó al comienzo del primer cuatrimestre del curso 2022/2023, de manera previa a la impartición de la asignatura en el 2º cuatrimestre. Consistió en la búsqueda de información y selección de los ciclos de potencia y refrigeración cuya dificultad de resolución fuese adecuada al alcance de la asignatura Termodinámica Aplicada.
2. Elaboración del material docente: El material docente, es decir, los casos prácticos, se plantearon a partir de la bibliografía seleccionada en la actividad 1, en concreto de libros específicos sobre termodinámica aplicada y también artículos de investigación, adecuando siempre el nivel de estos al de los estudiantes del 2º curso del Grado en Ingeniería Química y a las competencias que se deben alcanzar a lo largo de la asignatura Termodinámica Aplicada. Se elaboraron los enunciados de los casos prácticos subdividiendo los mismos en subcasos de dificultad creciente, partiendo para ello de un subcaso base similar a un problema tipo resuelto en clase hasta llegar al subcaso más realista y de mayor dificultad que los estudiantes tuvieron que resolver. Para facilitar la resolución de los casos prácticos y homogeneizar las entregas, que se llevaron a cabo a través del Campus Virtual de la asignatura, se elaborarán unos libros de cálculo que los estudiantes tuvieron que completar utilizando Microsoft Excel y el complemento CoolProp. Estos libros de cálculo estaban constituidos por una serie de hojas de cálculo: instrucciones, declaración de no plagio, enunciado del problema, subcasos a resolver, cuestionario y criterios de evaluación.
3. Elaboración de un plan de implantación de la metodología: En base a la experiencia previa adquirida en un proyecto de innovación docente durante el curso 2021/2022 del que este es continuación, la implantación de la metodología fue sencilla, dado que los estudiantes ya habían tenido un contacto anterior con la metodología basada en casos y su resolución mediante Microsoft Excel. Como novedad, la implantación como tareas evaluables de los casos prácticos trajo consigo la explicación detallada de los casos y los objetivos docentes de los mismos en una clase docente en el aula; además, se explicó a los estudiantes que los casos planteados eran lo más realistas posibles, de manera que al margen del interés académico de estos casos también lo había profesional al resolverlos con herramientas y enfoques propios del trabajo ingenieril en empresas, incentivando de esta manera su interés.
4. Diseño de un plan para el seguimiento de los resultados obtenidos y futuras actuaciones: Se elaboraron encuestas de satisfacción para que los estudiantes pudieran valorar el grado de utilidad de las herramientas. De igual modo, los docentes valoramos el interés despertado en los estudiantes, su grado de implicación y las mejoras detectadas con respecto a cursos anteriores.
5. Elaboración del informe final del proyecto: Finalmente, en base al desarrollo de las tareas anteriores llevadas a cabo durante el proyecto, se ha elaborado el presente informe final.

6. Anexos

Durante el periodo de ejecución del Proyecto de innovación se ha llevado a cabo una labor de difusión de éste. Se ha presentado una comunicación oral al congreso docente VI CIDIQ:

García J., Domínguez J.C., Alonso M.V., Mateo S., Oliet M., Rigual V. "Tutorías basadas en la resolución de casos en la asignatura de Termodinámica Aplicada" VI Congreso de Innovación Docente en Ingeniería Química, 2022, Madrid, España.

Y se ha publicado un artículo docente en una revista internacional indexada:

Domínguez, J. C., Lorenzo, D., García, J., Hopson, C., Rigual, V., Alonso, M. V., Oliet, M., 2023. "MATLAB applications for teaching Applied Thermodynamics: Thermodynamic cycles". Computer Applications in Engineering Education, <https://doi.org/10.1002/cae.226130>.