



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

Proyecto de Innovación

Convocatoria 2023/2024

Nº de proyecto: 51

Aplicación de la metodología de aprendizaje basada en casos para la resolución de problemas de optimización multiobjetivo en Ingeniería de Procesos

Nombre del responsable del proyecto:

Victoria Rigual Hernández

Facultad de Ciencias Químicas

Departamento de Ingeniería Química y de Materiales

1. Objetivos propuestos en la presentación del proyecto

El objetivo principal que se propuso para este proyecto era acercar a los estudiantes de tercero del Grado de Ingeniería Química a las tareas propias de un Ingeniero Químico en un entorno laboral real, abordando problemas que impliquen la optimización simultánea de varias variables en un proceso químico. Este objetivo responde a la necesidad de que los estudiantes de este Grado sean capaces de adquirir las siguientes competencias técnicas que se demandan en el entorno profesional:

1. Competencia técnica 1: Comprender la información que contienen documentos técnicos acerca de procesos químicos.
2. Competencia técnica 2: Aplicar los conocimientos teóricos adquiridos a casos prácticos reales: Ser capaces de aplicar los conocimientos teóricos de optimización multiobjetivo impartidos a un caso práctico numérico real.
3. Competencia técnica 3: Emplear herramientas informáticas (hojas de cálculo y simuladores) actualizadas a las necesidades reales de la industria, para abordar la optimización de problemas multiobjetivo.
4. Competencia técnica 4: Evaluar y analizar las soluciones obtenidas tomando una actitud crítica ante los resultados (en base a las referencias técnicas obtenidas y a los conocimientos teóricos del proceso adquiridos durante las clases teóricas).

Además de las competencias técnicas enumeradas, se buscó también mejorar una serie de competencias transversales que permitieran a los estudiantes alcanzar el objetivo general expuesto a través de una serie de objetivos específicos que se detallan posteriormente.

Competencias transversales:

5. Competencia transversal 5: Mejorar la comprensión lectora de inglés técnico.
6. Competencia transversal 6: Ser capaces de trabajar en equipo potenciando la colaboración entre compañeros con el fin de resolver un objetivo común. Distribuir tareas y mejorar la comunicación.
7. Competencia transversal 7: Presentar la información obtenida de manera ordenada en hojas de cálculo que incluyan toda la información necesaria para entender el caso práctico.

Objetivos específicos del proyecto: Los objetivos que se propusieron para el proyecto fueron:

- Evaluar las posibilidades de las diferentes herramientas informáticas disponibles dentro de la asignatura de Ingeniería de Procesos de tercer curso del Grado y, en concreto, su aplicación en la resolución de un caso práctico real.
- Elaborar el caso práctico real de tal manera que esté alineado con lo ya estudiado en los casos prácticos que fueron propuestos a estos mismos estudiantes en el primer y segundo curso de grado.
- Elaborar recursos docentes complementarios que permitan un uso adecuado de las herramientas informáticas con las que se va a trabajar.
- Elaborar recursos docentes complementarios que permitan entender la resolución de un caso multietapa, partiendo de los problemas sencillos actuales que se imparten en las clases de seminarios.
- Elaborar un procedimiento de implementación del caso práctico real dentro de la asignatura de Ingeniería de Procesos.
- Plantear una estrategia de implementación de las actividades complementarias dentro del tercer curso del Grado en Ingeniería Química.
- Plantear un procedimiento de evaluación del caso práctico planteado dentro de la asignatura de Ingeniería de procesos de tercer curso.
- Evaluar el grado de satisfacción de los estudiantes con la nueva actividad docente planteada.

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.

Objetivo principal (100 % completado). Se ha completado en su totalidad. Para su consecución, se han desarrollado tres casos de aprendizaje relacionados con problemas de optimización, empleado el ejemplo clásico del “problema de la mochila” (*Knapsack problem*, en sus siglas inglesas), que es un problema de optimización combinatoria, es decir, que busca la mejor solución entre un conjunto finito de posibles soluciones a un problema. Los casos de aprendizaje se han aplicado dentro de los contenidos del programa de la asignatura de Ingeniería de Procesos. Además, se ha elaborado una presentación introductoria sobre los conceptos básicos relativos a la optimización. Finalmente, se ha desarrollado un caso problema que los estudiantes debían resolver y entregar a través del Campus Virtual y que formaba parte de la evaluación de la asignatura.

Objetivos específicos (100 % completado).

1. Evaluar las posibilidades de las diferentes herramientas informáticas disponibles dentro de la asignatura de Ingeniería de Procesos de tercer curso del Grado y, en concreto, su aplicación en la resolución de un caso práctico real.

Para la resolución de los casos mostrados y del caso propuesto como entregable se evaluaron bibliográficamente las distintas herramientas empleadas para la resolución de optimizaciones multiobjetivo y/o multivariable. Dentro de las que se encontraron, se evaluaron inicialmente tres herramientas: MS Excel, licenciada por la UCM y los lenguajes de programación MATLAB, también licenciado por la UCM, y Python, gratuito. Finalmente, se optó por MS Excel, dado que en el 1^{er} curso del Grado en Ing. Química los estudiantes aprenden a utilizarlo en la asignatura “Informática Aplicada” y en el 2^o curso lo utilizan en casos de optimización en la asignatura “Termodinámica Aplicada” (Proyecto de Innovación N^o 375, convocatoria 2022/2023).

2. Elaborar el caso práctico real de tal manera que esté alineado con lo ya estudiado en los casos prácticos que fueron propuestos a estos mismos estudiantes en el primer y segundo curso de grado.

Se han desarrollado una totalidad de 4 casos prácticos complejos. El tercer caso práctico consistía en un problema real que, para el caso práctico entregable se adaptó al grado de dificultad requerido en la asignatura, manteniendo su representatividad como problema de la industria petrolera. De este modo, se considera completamente completado este objetivo específico.

3. Elaborar recursos docentes complementarios que permitan un uso adecuado de las herramientas informáticas con las que se va a trabajar.

Se ha elaborado el material complementario requerido para la explicación en varios seminarios de la asignatura “Ingeniería de Procesos” de los casos 1-3, empleados como ejemplos. Para casos prácticos empleados como ejemplos se han elaborado las respectivas hojas MS Excel; toda esta información se ha alojado en el Campus Virtual de la asignatura, de forma que estuviera accesible a todo el estudiantado. Así pues, se considera completamente completado este objetivo específico.

4. Elaborar un procedimiento de implementación del caso práctico real dentro de la asignatura de Ingeniería de Procesos y plantear una estrategia de implementación de las actividades complementarias dentro del tercer curso del Grado en Ingeniería Química.

Como los objetivos anteriores, se han conseguido completar estos dos objetivos específicos en su totalidad. El material docente elaborado se ha implementado a través de horas docentes de la asignatura, así como el resto de las actividades complementarias y la difusión y acceso a la información y materiales a través del Campus Virtual de la asignatura.

5. Plantear un procedimiento de evaluación del caso práctico planteado dentro de la asignatura de Ingeniería de procesos de tercer curso.

El caso práctico planteado como entregable se ha evaluado dentro de las actividades evaluables incluidas en el guía docente de la asignatura, constituyendo un porcentaje de la nota final de la asignatura. De esta forma, el trabajo realizado durante el proyecto de innovación ha pasado a formar parte de los conocimientos impartidos en la asignatura y, por tanto, a través de dicho trabajo se han evaluado competencias correspondientes a la misma.

6. Evaluar el grado de satisfacción de los estudiantes con la nueva actividad docente planteada.

El grado de satisfacción de los estudiantes se ha evaluado a través de encuestas directas, así como durante los seminarios impartidos de forma oral en el aula a través de preguntas sobre su utilidad, dificultad, idoneidad, etc. Estas mismas encuestas sirven para detectar la fortalezas y flaquezas de los casos propuestos, de forma que se puedan identificar las actuaciones y mejoras necesarias para que el proyecto tenga una continuidad en cursos posteriores.

3. Metodología empleada en el proyecto

La metodología empleada en el proyecto fue la propuesta en la solicitud. El grupo del proyecto se ha dividido en equipos de trabajo coordinados por las profesoras V. Rigual (responsable del proyecto) y M. Oliet, coordinadora del Grado en Ing. Química y profesora de la asignatura "Ingeniería de Procesos". De este modo, se han llevado a cabo las fases del plan de trabajo y, dentro de estas, las actividades propuestas para la consecución de todos los objetivos del proyecto. A continuación, se muestra el organigrama seguido:

Fase 1: Puesta en marcha del proyecto. Dentro de esta fase se definió el alcance del proyecto, i.e., se ha concretado el tipo de caso práctico con el que se iba a llevar a cabo el proceso, así como la dificultad del caso práctico entregable. De este modo, se estableció que el proceso químico a estudiar sería el denominado "blending", es decir, el mezclado de las distintas fracciones procedentes de la refinería para la obtención de diversos productos (combustibles). En base a esto, se consideró que el proyecto era plenamente viable y se propusieron los cambios requeridos en al Guía Docente de la asignatura para que quedará reflejado cómo iba a contribuir la actividad a la evaluación de la asignatura.

Fase 2: Planificación. Esta fase, junto con la siguiente de implementación, constituyeron el núcleo del proyecto. A lo largo de la misma se seleccionaron las fuentes bibliográficas más relevantes, tomando el siguiente como libro de referencia para los estudiantes: *Alfares, H. K. (2023). Applied Optimization in the Petroleum Industry. Springer International Publishing.* A partir de este libro, y de diversas publicaciones y recursos online, se elaboraron los enunciados de los casos tomados como ejemplo y del caso evaluable, así como los ficheros MS Excel que sirvieron de soporte de los casos. Se elaboraron también los recursos complementarios de soporte para los seminarios. También, en base a las encuestas realizadas en proyectos de innovación previos, se preparó un cuestionario.

Fase 3: Implementación. Una vez concluida la preparación del proyecto en la fase previa, se han implementado la incorporación a la docencia de los casos prácticos y de los materiales de apoyo. Se han empleado 5 h de seminario para realizar la presentación y , la metodología para resolver este tipo de problemas, la explicación de los ejemplos y la resolución de dudas. Transcurridas las horas de contenido docente, los estudiantes han dispuesto de más de un mes para la resolución de forma individual de un caso práctico entregable a través del Campus Virtual de la asignatura, tiempo durante el que se han atendido y resuelto las dudas que les han ido surgiendo. Para la resolución del caso práctico entregable, los estudiantes tuvieron un plazo de 5 días desde la recepción del enunciado para resolver el caso práctico y entregar la hoja Excel.

Fase 4: Cierre. Finalmente, tras la finalización de la implementación se ha reunido el grupo de trabajo para evaluar la ejecución del proyecto y planificar el este informe final, concluyendo con la redacción del mismo.

4. Recursos humanos

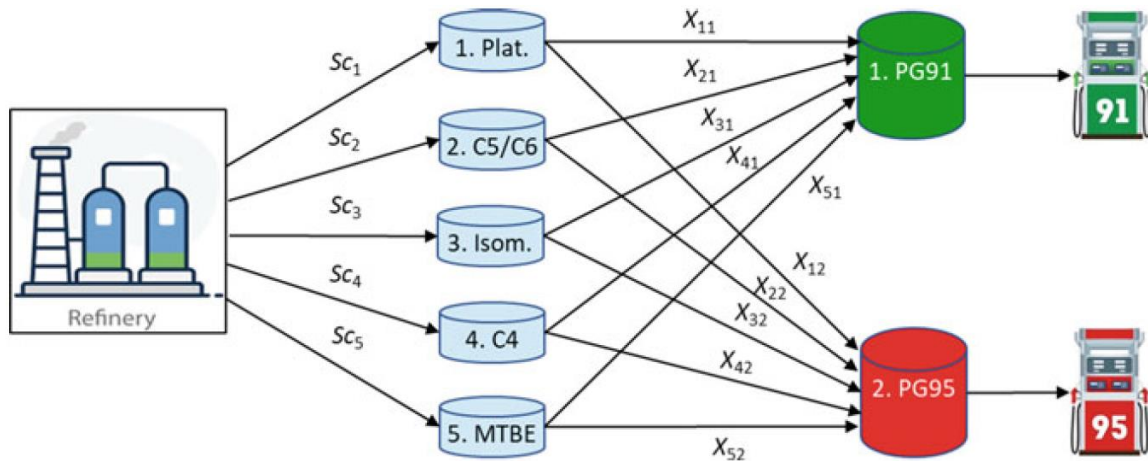
El proyecto de innovación ha sido realizado por el grupo descrito en la solicitud del proyecto, compuesto por profesores del Departamento de Ingeniería Química y de Materiales.

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 organizador 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.

5. Desarrollo de las actividades

Las actividades se han desarrollado durante el curso académico 2023/2024, de acuerdo con el cronograma indicado en la solicitud de este proyecto de innovación. Las actividades que han constituido el núcleo de este proyecto han sido el desarrollo de los casos (y del material complementario empleado). De este modo, los casos propuestos (4) fueron:

- Descripción de la metodología de trabajo y teoría de optimización de procesos: Para enfocar la temática de trabajo, se enmarcó el concepto de estas clases y la utilidad de las herramientas de optimización dentro de la Ingeniería de Procesos. Se especificó cómo se plantea la metodología y los principales elementos que se deben definir y optimizar: variables, funciones objetivo y restricciones. Una vez definidos los elementos principales de cualquier caso de optimización se mostró cómo abordar este problema usando la herramienta MS Excel.
- Caso inicial: Optimización de la mezcla de crudos procesada en una refinería. Como primer caso práctico, se planteó un caso en el que se mostraba cómo se podía optimizar la producción de distintas fracciones petrolíferas a partir de dos tipos de crudo en una refinería. El objetivo del caso era maximizar los ingresos de la refinería considerando restricciones en base a capacidad de procesamiento de cada tipo de crudo y a la demanda máxima de cada una de las cuatro fracciones petrolíferas producidas. El caso constituía una introducción a la optimización, dado que se simplificó con respecto a una situación real de forma, que fuese un problema lineal, y su resolución se mostró a los estudiantes de forma analítica y también gráfica.
- Caso 2: Optimización de los ingresos por venta de paneles fabricados con recursos limitados. El segundo ejemplo consistió en un problema de optimización similar al caso inicial, aunque en este problema el número de variables aumentó, complicando ligeramente la resolución del caso. Como en el caso inicial, la resolución del problema se llevó a cabo de manera analítica y también numérica empleando MS Excel con herramienta de trabajo; se especificaron las restricciones del problema y la función objetivo que, como en el caso previo, eran los ingresos de la empresa y, por tanto, la optimización buscaba maximizar dicha función.
- Caso real: Optimización de un proceso de "blending". El último ejemplo que se mostró a los estudiantes era un caso real correspondiente a la optimización del proceso de mezcla de crudos para la obtención de gasolinas con distintas especificaciones, lo que en la industria del refino se denomina "blending". En este caso el número de fracciones empleadas era de cinco y las gasolinas eran dos. La siguiente figura esquematiza el caso propuesto:



A pesar de que el número de variables del problema no incrementó la dificultad del problema, sí lo hizo debido al aumento significativo en el número de restricciones, dado que a las restricciones de producción de materias primas y productos se unieron las correspondientes al ajuste de la demanda, límites de composición de las gasolinas y, lo que es más significativo, a las propiedades de las gasolinas producidas, dado que estas debían cumplir con las especificaciones marcadas para este tipo de productos: E70, RVP, VLI y RON (índice de octanos). Esta última especificación, quizá la más conocida de las gasolinas (91 y 95 octanos), complica significativamente la resolución del problema, dado que el valor no depende linealmente de la composición en cada una de las fracciones de la gasolina, sino que su determinación se hace a partir de una correlación no lineal, de forma que el caso pasa de ser una optimización lineal, como los dos casos anteriores, a un problema no lineal. A los estudiantes se les explicó en detalle este aspecto, incidiendo en que la mayor dificultad del problema radicaba en encontrar valores iniciales para las variables que permitieran cumplir con todas las restricciones del caso. Para conseguirlo, se les mostró que el caso podía simplificarse eliminando las restricciones no lineales y, una vez resuelta esta simplificación, los valores obtenidos como resultado de la optimización de la misma se podían emplear como valores iniciales para el caso real no lineal. A través de este caso, también se explicó e incidió en la importancia de la organización del trabajo (en este caso a través de la herramienta empleada: una hoja Excel), de forma que resultase comprensible el trabajo realizado, interpretables las restricciones del proceso, quedasen claras las variables del mismo e igualmente se estableciese la función objetivo empleada y, finalmente, que los resultados obtenidos se pudiesen comprobar y discutir de manera rápida y sencilla.

- Caso entregable/evaluable: Optimización de procesos. Como caso práctico entregable se propuso un problema de optimización de un proceso de “blending” con algunas simplificaciones con respecto al caso real: sólo se estableció una especificación en las propiedades de las gasolinas, el RON; se partió sólo de tres fracciones petrolíferas; no se plantearon restricciones en el almacenaje, etc. La evaluación de los resultados se realizó de acuerdo con el siguiente criterio: variables que se van a optimizar (1 pto), método de iteración elegido (1 pto), restricciones (2 ptos), variables optimizadas (3 ptos) y presentación de la hoja de cálculo (3 ptos)

Además de los casos prácticos, resultan reseñables las actividades realizadas para el seguimiento de los resultados obtenidos y el establecimiento de actuaciones futuras. Se elaboraron encuestas de satisfacción para que los estudiantes pudiesen 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 curso anteriores.

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 al congreso docente VII CIDIQ que ha sido aceptada como comunicación oral.

V. Rigual, J. C. Domínguez, J. García, S. Mateo, P. Verdía, M. V. Alonso, M., "Aplicación de la metodología de optimización multivariable a casos prácticos en Ingeniería de los Procesos Químicos", VII Congreso de Innovación Docente en Ingeniería Química (CIDIQ VII), Sevilla, España, 2024.