



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

Proyecto de innovación

Convocatoria 2017/2018

Nº de proyecto: 11

Título del proyecto: Elaboración de recursos docentes para la enseñanza presencial y semipresencial en el área de la Ingeniería Química empleando Jupyter Notebook

Nombre del responsable del proyecto: Juan Carlos Domínguez Toribio

Centros: Facultad de Ciencias Químicas

1. Objetivos propuestos en la presentación del proyecto

El objetivo general de este proyecto es la elaboración de recursos docentes, para estudiantes y profesores, dentro del área de la Ingeniería Química, en concreto centrándose en el apoyo a la docencia de las asignaturas de Fundamentos de Ingeniería Química (asignatura obligatoria de 9 créditos ECTS del 1er curso del Grado en Ingeniería Química) e Ingeniería Química (asignatura obligatoria de 9 créditos ECTS del 2º curso del Grado en Química), utilizando el software libre Jupyter Notebook, empleado bajo el lenguaje de programación Python. Para la consecución de este objetivo principal se han planteado los objetivos específicos que se describen a continuación.

- 1) Determinar las posibilidades docentes de la herramienta Jupyter Notebook dentro de las dos asignaturas elegidas y priorización, en función de la viabilidad del proyecto, de aquellas habilidades que se pretende reforzar con los recursos docentes elaborados.
- 2) Desarrollar los distintos recursos docentes:
 - a) Generadores de problemas tipo, y de recursos para seminarios y exámenes para las asignaturas seleccionadas.
 - b) Material docente de apoyo a las clases magistrales. Se pretende que los estudiantes visualicen los conceptos teóricos explicados en clase, que en muchos casos pueden resultar abstractos. Estas herramientas también podrán utilizarse como base para el desarrollo de futuros laboratorios virtuales.
- 3) Evaluar la funcionalidad de los materiales desarrollados a lo largo del proyecto una vez se ha llevado a cabo la recopilación de todos los recursos elaborados.
- 4) Realizar un plan de seguimiento que incluya una encuesta al final del curso en las dos asignaturas que permita conocer cuál ha sido el grado de utilización y la opinión personal de los estudiantes en cuanto a la utilidad del material.
- 5) Difundir los resultados obtenidos a través de congresos y publicaciones docentes generalistas y específicos del área de la 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.

- Objetivo 1. En primer lugar se identificaron los contenidos dentro del temario de las dos asignaturas, en las cuales se centra el proyecto, para los cuales resultaba especialmente relevante y factible el diseño de estas herramientas. Los conceptos priorizados dentro de las asignaturas fueron: resolución de balances de materia (en particular aquellos en los que había reacción química y recirculación) y de energía (en concreto balances con intercambio de calor asimilando los medios al agua líquida y vapor); identificación de parámetros cinéticos mediante los métodos diferencial e integral y aplicación de la ecuación de Arrhenius para determinar la influencia de la temperatura; diseño de equipos de intercambio de calor: evaporadores y cambiadores de calor tubulares; diseño de reactores químicos ideales (mezcla perfecta y flujo pistón); diseño simplificado de una columna de rectificación mediante el método de McCabe-Thiele; determinación del comportamiento reológico de un fluido y modelización del mismo.
- Objetivo 2. Dentro de los dos tipos de recursos docentes objetivo de este proyecto (generadores de problemas y material de apoyo a la docencia), se desarrollaron los siguientes recursos, atendiendo a los criterios fijados en el Objetivo 1.
 - Objetivo 2.a). De forma previa al desarrollo y programación de los generadores, se desarrollaron los problemas base a partir de los cuales elaborar los recursos docentes. De este modo, se elaboraron un total de 12 generadores de problemas, que, en función de los casos, se adaptaron también para su utilización en la preparación de problemas para seminarios y exámenes. Los generadores fueron clasificados en tres categorías, atendiendo a su flexibilidad en la generación de problemas: generadores de problemas fijos, es decir, aquéllos para los que el procedimiento de resolución del problema es siempre igual y únicamente cambian los valores de las variables conocidas del problema; generadores de problemas basados en casos, en donde se agruparon en casos las variables conocidas y desconocidas mostradas cada vez que se utiliza el generador; y generadores aleatorios o al azar, donde cualquier variable del problema puede ser conocida o desconocida de forma independiente.
 - Objetivo 2.b). Se elaboraron 4 herramientas de apoyo a las clases magistrales con los que los docentes pueden explicar a los alumnos conceptos teóricos de forma interactiva y práctica sin tener que utilizar un aula informática, y en el mismo momento en el que se explican por primera vez esos conocimientos.

Con esto se ha considerado que ambos objetivos se han alcanzado prácticamente en su totalidad de acuerdo con la viabilidad prevista en la solicitud del proyecto de innovación.

- Objetivo 3. Los generadores de problemas desarrollados se han ido alojando en los campus virtuales de las asignaturas a medida que han estado disponibles a lo largo del año de ejecución del proyecto. Los materiales docentes se emplearon de igual modo durante la impartición de las clases magistrales, a medida que estuvieron disponibles. Este último caso ha requerido de la instalación en los ordenadores de las aulas donde se impartían las clases magistrales de la distribución de Python "Anaconda". De esta forma, se considera que este objetivo se ha completado en su totalidad.

- Objetivo 4. El objetivo del seguimiento de la utilidad de los materiales docentes es quizás el objetivo menos desarrollado a lo largo del proyecto, si bien se ha llevado a cabo, en la medida de lo posible, a través de consultas individuales con estudiantes y a partir del análisis del número de descargas de estos materiales a través del campus virtual de las asignaturas. No obstante, se pretende continuar con dicho seguimiento en futuros cursos, incluyendo la realización de encuestas de evaluación de la utilidad percibida por los estudiantes con este tipo de materiales.
- Objetivo 5. El último objetivo, la difusión de los resultados obtenidos a través de congresos y publicaciones científicas, se ha logrado de forma bastante exitosa a pesar de la limitada duración del proyecto. Se ha llevado a cabo una comunicación oral a un congreso docente específico en el área de la Ingeniería Química (en el IV Congreso de Innovación Docente en Ingeniería Química), y tras lo cual fue seleccionada para su publicación en un número especial de la revista internacional de reconocido impacto y prestigio *Education for Chemical Engineers*. En la actualidad, este artículo está en proceso de revisión. Tampoco se descartan nuevas comunicaciones en el ámbito de algún congreso o jornada docente en el futuro.

3. Metodología empleada en el proyecto

La metodología empleada durante la ejecución del proyecto fue esencialmente la propuesta en su solicitud. El grupo innovador se dividió en dos equipos de trabajo coordinados, realizando uno de ellos labores de identificación de las necesidades docentes y planificación de los recursos a elaborar, y el otro llevando a cabo el desarrollo de las correspondientes herramientas docentes a lo largo de las tareas 1 y 2 propuestas en el plan de trabajo; los equipos se volvieron a unificar para realizar las tareas 3 y 4. A continuación se describen las tareas realizadas para llevar a cabo la consecución de los objetivos propuestos.

Tarea 1. Planteamiento de las líneas de actuación prioritarias. El grupo innovador se subdividió en dos equipos. Un primer equipo que llevó a cabo el proceso de selección y priorización correspondiente al Objetivo 1, y el segundo equipo encargado de iniciar la labor de documentación y búsqueda de recursos necesaria para la realización del Objetivo 2 del proyecto.

Tarea 2. Elaboración del material docente. Ambos equipos, de forma coordinada, llevaron a cabo la elaboración de los generadores de problemas tipo y de recursos para seminarios y exámenes; el desarrollo del material docente de apoyo a las clases magistrales; y la adaptación de los materiales elaborados para cada una de las asignaturas en cuya docencia se ha centrado este proyecto.

Tarea 3. Integración y utilización del material elaborado. En esta tarea se recopiló de forma estructurada todo el material desarrollado y se evaluó su funcionalidad. Si bien el material docente ha experimentado diversas mejoras a partir de la corrección de fallos y aspectos susceptibles de mejora, esta tarea se mantendrá activa durante toda la vida útil de las herramientas docentes desarrolladas, tanto en materia de corrección de errores de programación y mejora de la usabilidad de los materiales, como en el desarrollo de nuevas herramientas docentes.

Tarea 4. Diseño de un plan para el seguimiento de los resultados obtenidos y futuras actuaciones. Esta tarea, asociada al Objetivo 4, si bien se ha llevado a cabo, aún requiere de su desarrollo práctico a lo largo de cursos futuros.

Tarea 5. Elaboración del informe final del proyecto.

4. Recursos humanos

El proyecto de innovación ha sido realizado por el grupo innovador descrito en la solicitud del proyecto, compuesto por profesores del Departamento de Ingeniería Química y de Materiales y dos investigadoras predoctorales colaboradoras en tareas docentes, del mismo Departamento.

Tal y como se describe en la metodología empleada en el proyecto, los miembros del proyecto han trabajado tanto de forma conjunta como en dos equipos separados y coordinados en la realización de las tareas propuestas. Los equipos se formaron atendiendo al perfil de los miembros del proyecto: su experiencia en la docencia de las asignaturas para las cuales están orientados los recursos docentes desarrollados, conocimientos del software empleado, y experiencia reciente como estudiantes de grado y colaboradoras en la docencia del Departamento.

5. Desarrollo de las actividades

Las actividades se han desarrollado, de forma general, de acuerdo al cronograma indicado en la solicitud de este proyecto de innovación, con reuniones periódicas de seguimiento de todos los miembros del grupo innovador, especialmente al inicio del periodo de realización del proyecto. Si bien, cabe resaltar que, dada la selección de las dos comunicaciones docentes al congreso CIDIQ IV para su publicación en la revista internacional *Education for Chemical Engineers* (una de ellas relacionada con este proyecto innovador), y debido a los plazos fijados para la redacción del artículo docente, bastante limitados y exigentes, hubo que replantear ligeramente dicho cronograma y proceder a una subdivisión de la labor de redacción en dos subgrupos.

Tarea 1. Planteamiento de las líneas de actuación prioritarias. A lo largo de esta tarea se identificaron los conceptos que presentaban una mayor dificultad, dentro de las dos asignaturas en las que se ha centrado el proyecto docente, de acuerdo con la experiencia de los profesores y las necesidades que habitualmente mencionan los estudiantes durante el curso. A partir de esos conceptos se determinaron y priorizaron, en función del alcance del proyecto, las herramientas docentes a desarrollar.

Tarea 2. Elaboración del material docente. Esta tarea constituye el núcleo del proyecto de innovación. Se ha llevado a cabo en un periodo de unos seis meses, tal y como se programó en la solicitud del proyecto. A lo largo de este periodo se han podido completar los siguientes materiales:

- i. Balance de energía. Se elaboró un generador para un problema tipo de balance de energía en un sistema de intercambio de calor. Este generador está basado en cuatro posibles casos: determinación del caudal másico de vapor conocidas las entalpías del vapor y del medio frío; determinación del caudal másico de corriente a calentar mediante el empleo de entalpías; y dos casos cuyas variables desconocidas eran los dos caudales mencionados anteriormente, pero utilizando calores específicos y latentes para el cálculo de las entalpías correspondientes.
- ii. Balance de materia. Problema tipo de balance de materia de un sistema reaccionante con recirculación; generador basado en casos. Las variables conocidas dependen del caso elegido al azar cada vez que se ejecuta el generador, dentro de los cuatro casos posibles programados inicialmente. Se considera una única reacción para la cual tanto coeficientes estequiométricos como pesos moleculares de los compuestos involucrados, dos reactivos (A y B) y dos productos (C y D), se generan aleatoriamente dentro de los intervalos establecidos y las restricciones fijadas durante el diseño del problema.
- iii. Problemas de cinética química. En este caso se han desarrollado dos generadores de problemas del tipo "fijo" para la identificación de los parámetros cinéticos de un modelo potencial a una temperatura fija empleando los métodos diferencial e integral, y la determinación de la influencia de la temperatura en la constante cinética de acuerdo con el modelo de Arrhenius. Se han programado también, a partir de estos generadores, el correspondiente material adaptado para su empleo en la elaboración de recursos para seminarios, tutorías y exámenes.
- iv. Problemas de diseño de reactores químicos ideales. Para el estudio de esta materia se han desarrollado dos generadores, de nuevo de tipo "fijo", junto con los materiales adaptados para uso del docente: generadores de seminarios, tutorías y exámenes, y material interactivo de apoyo a las clases magistrales.
- v. Problemas de reología. Se han elaborado dos generadores, de tipo "fijo", para el estudio de problemas cuyo objetivo es la determinación de los parámetros reológicos de un modelo potencial y el estudio de la influencia de la concentración, en el caso de suspensiones, en el valor de dichos parámetros. A

su vez, se ha elaborado un simulador interactivo que permita mostrar a los estudiantes la influencia de los parámetros del modelo potencial en el comportamiento reológico de fluidos.

- vi. Generadores de problemas de transmisión de calor: se han desarrollado generadores para los problemas correspondientes a dos de los equipos más habituales de transmisión de calor: evaporadores y cambiadores de calor tubulares.
 - Evaporadores. Se han programado dos generadores de problemas de tipo “fijo”: para el diseño de evaporadores de efecto sencillo, y múltiple, ambos en contracorriente.
 - Cambiadores de calor tubulares. Se han desarrollado dos generadores de problemas, en este caso generadores completamente aleatorios, para la resolución de problemas de intercambio de calor con flujo en paralelo y contracorriente.
- vii. Problemas tipo de rectificación de mezclas binarias empleando el método gráfico de McCabe-Thiele. Los generadores son la adaptación numérica al método gráfico enseñado a los estudiantes, por lo que puede existir una pequeña discrepancia entre los resultados mostrados por el generador y los alcanzados por los estudiantes. Para salvar esta dificultad, este generador es de tipo “fijo” y en él se describen paso a paso todas las etapas de la resolución gráfica, insertando las figuras correspondientes que ilustren cada uno de los pasos de la resolución. A partir de este generador se ha elaborado un simulador para el estudio de la influencia de las tres variables más significativas en el proceso de destilación que, a su vez, complementan material previo ya utilizado en el caso de la asignatura “Ingeniería Química”, impartida en el segundo curso del Grado en Química.

Tarea 3. Integración y utilización del material elaborado. Todo el material elaborado ha sido comprobado y validado, si bien, dado el carácter aleatorio de estos generadores, tras su utilización masiva, podría ocurrir algún tipo de error puntual. Todo el material se ha alojado en la plataforma gratuita online Microsoft Azure Notebooks, así como en los correspondientes campus virtuales.

Tareas 4-5. En la actualidad estas tareas se encuentran en periodo de ejecución, dado que se han visto retrasadas parcialmente debido a la incorporación de una sexta tarea, no contemplada inicialmente en la solicitud.

Tareas 6. Elaboración de un artículo docente para la revista internacional *Education for Chemical Engineers*, de referencia en el ámbito educacional de la Ingeniería Química. Si bien la publicación en revistas docentes del trabajo realizado se contempló como trabajo futuro en la solicitud del Proyecto de innovación, el trabajo fue seleccionado tras su presentación en el IV CIDIQ para su publicación en un número especial de la revista anteriormente señalada. El plazo para la entrega del manuscrito fue de apenas un mes, lo que llevó a la totalidad del equipo innovador a volcarse en esta tarea pues se consideró una excelente oportunidad para la difusión de los resultados obtenidos.

Finalmente, la totalidad de los recursos desarrollados, tanto generadores como material docente, se ha comprimido en un archivo que se incluye como adjunto de esta memoria final.

Anexos

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

Domínguez, J.C., Alonso, M.V., Guijarro, M.I., Miranda, R., Oliet, M., Rigual, V., Toledo, J.M., Villar-Chavero, M.M., Yustos, P., 2018. *Problem Generators in Chemical Engineering with Jupyter Notebook*, IV Congreso de Innovación Docente en Ingeniería Química, Santander, España.

A raíz de la cual, se seleccionó entre todas las comunicaciones enviadas al congreso para su publicación en un número especial de *Education for Chemical Engineers*. En la actualidad el siguiente artículo se encuentra en proceso de revisión:

Domínguez, J.C., Alonso, M.V., González, E.J., Guijarro, M.I., Miranda, R., Oliet, M., Rigual, V., Toledo, J.M., Villar-Chavero, M.M., Yustos, P., 2018. *Teaching Chemical Engineering with Jupyter Notebook: Problem generators and lecturing tools*, Education for Chemical Engineers- **En proceso de revisión.**