



UNIVERSIDAD  
**COMPLUTENSE**  
MADRID

Proyecto de Innovación

Convocatoria 2022/23

Nº de proyecto: 208

Practicando Ingeniería Química: Prácticas colaborativas de bajo coste para  
grupos numerosos

Responsable del proyecto: Marcos Larriba Martínez

Facultad de Ciencias Químicas

Departamento: Ingeniería Química y de Materiales

## 1. Objetivos propuestos en la presentación del proyecto

En la actualidad, en el currículo académico de distintas titulaciones de la Universidad Complutense de Madrid se incluyen asignaturas de carácter obligatorio de introducción a la ingeniería química:

- Grado en Ingeniería Química: Fundamentos de Ingeniería Química, 9 ECTS, Obligatoria de 1er curso.
- Grado en Química: Ingeniería Química, 9 ECTS, Obligatoria de 2º curso.
- Grado en Ciencia y Tecnología de los Alimentos: Fundamentos de Ingeniería Química, 6 ECTS, Obligatoria de 2º curso.

A pesar de que estas enseñanzas llevan siendo impartidas varios años, las Memorias de Seguimiento de los grados implicados evidencian una gran dificultad en el aprendizaje y la enseñanza de estas asignaturas. Sin embargo, una de las realidades que ha identificado el equipo de trabajo de este proyecto es que ninguna de las asignaturas de introducción a la ingeniería química impartidas en la UCM prevé actividades experimentales de laboratorio en sus respectivos programas. Destaca también el hecho de que las asignaturas mencionadas se encuentran entre las asignaturas el mayor número de matriculados en sus respectivas titulaciones, lo que da una idea del número de segundas y terceras matrículas que son necesarias para superar estas asignaturas.

La enseñanza práctica y experimental de la ingeniería química no es solo deseable, si no que puede considerarse necesaria para comprender los principios y las bases de la materia. En ellas los alumnos pueden, a través de métodos experimentales, mejorar la adquisición conceptual de los fundamentos que les suelen resultar abstractos con una demostración y visualización didáctica, práctica y experimental.

En este sentido, algunos miembros del equipo de trabajo de este proyecto han impartido asignaturas de introducción a la ingeniería química en otras universidades. En otras titulaciones sí se contempla la realización de prácticas de laboratorio, donde las actividades experimentales reciben por lo general muy buenas valoraciones en las encuestas de alumnado y podrían explicar, en cierta medida, tasas de aprobados relativamente más elevadas. Por tanto, la implementación de unas prácticas de laboratorio podría constituir una medida efectiva para mejorar las bajas tasas de éxito relativas de las asignaturas de introducción a la Ingeniería Química en los grados de Ingeniería Química, Química y Ciencia y Tecnología de los Alimentos de la UCM, y podría incrementar notablemente la comprensión y la motivación de los estudiantes.

Existen razones de peso por las que la implantación de actividades prácticas de laboratorio constituye un reto importante. Entre ellas, cabe destacar que las prácticas experimentales tendrían que ajustarse a un horario ya de por sí muy constreñido, y

tendrían que ser accesibles a un número de alumnos matriculados extraordinariamente elevado.

Por otra parte, los laboratorios docentes del departamento de Ingeniería Química de la UCM no cuentan con los suficientes equipos e instrumentos destinados a docencia para abordar la impartición de prácticas de laboratorio a un número tan elevado de estudiantes.

Por todo lo descrito anteriormente, este proyecto se planteó con el objetivo de desarrollar de un Catálogo de Prácticas de Laboratorio de Introducción de Ingeniería Química de Bajo Coste para Grupos Numerosos. Como último fin, se trata de elaborar un catálogo de prácticas colaborativas que sean encajables en las guías docentes de las asignaturas de introducción a la Ingeniería Química en los grados de Ingeniería Química, Química y Ciencia y Tecnología de los Alimentos, y que permitan que los alumnos afiancen los conceptos fundamentales tratados en los distintos bloques de contenido que son recogidos en las guías docentes (Transmisión de Calor, Operaciones de Separación e Ingeniería de la Reacción Química y, de forma transversal a todas ellas, balances de materia y energía). En todo caso, Las prácticas diseñadas buscan ajustarse a los siguientes criterios:

- Recoger los fundamentos teóricos de los bloques de contenido mencionados.
- Diseños experimentales con bajo coste de inversión.
- Diseños experimentales replicables para atender a grupos muy numerosos.
- Instalaciones que permitan la resolución de prácticas con trabajo colaborativo.
- Prácticas experimentales que sean abordables en sesiones relativamente breves.

Por tanto, el objetivo inicial del proyecto fue la elaboración de un catálogo de prácticas experimentales de bajo coste y grupos numerosos para las asignaturas obligatorias de Fundamentos de Ingeniería Química, perteneciente al primer curso del Grado en Ingeniería Química, Ingeniería Química impartida en el 2º curso del Grado en Químicas, y en la asignatura de Fundamentos de Ingeniería Química de 2º curso del Grado en Ciencia y Tecnología de los Alimentos.

Estas prácticas de laboratorio de ingeniería química deberán ser fácilmente implementables en distintas titulaciones, tanto económicamente como por el espacio y horario necesarios, para trabajar de manera activa en grupos numerosos los fundamentos básicos de la ingeniería química: balances de materia y energía, transmisión de calor, operaciones de separación e ingeniería de la reacción química, y lograr, de este modo, aprendizaje significativo por parte de los estudiantes de esta disciplina, mejorando significativamente las tasas de aprobados obtenida en las asignaturas.

## 2. Objetivos alcanzados

El objetivo principal del proyecto fue elaborar un catálogo de prácticas de laboratorio de ingeniería química que puedan ser empleadas en grupos numerosos para las asignaturas Fundamentos de Ingeniería Química del Grado en Ingeniería Química y Ciencia y Tecnología de los Alimentos y de Ingeniería Química del Grado en Química. El objetivo principal se ha dado por alcanzado mediante el desarrollo del proyecto al haber elaborado y desarrollado las seis instalaciones experimentales que se describen en el último apartado de esta memoria.

Este objetivo general se concretó en los siguientes objetivos específicos que se han alcanzado durante el desarrollo del proyecto:

- Diseñar instalaciones para prácticas de laboratorio de bajo coste fácilmente replicables empleando herramientas innovadoras, como por ejemplo software de diseño 3D y materiales y reactivos asequibles. Este objetivo específico se ha tenido en consideración en el diseño de todas las instalaciones desarrolladas en el proyecto.

- Fomentar el interés de los estudiantes por la investigación aplicada. Además de las instalaciones se emplearán presentaciones a los estudiantes con todo el proceso de diseño y construcción de las instalaciones de las prácticas mediante diseño e impresión 3D. Para ello, se ha ido realizando la adquisición de imágenes del proceso de diseño. De esta forma, se proporcionará información sobre estas metodologías innovadoras que no se imparten en ninguna de las asignaturas del Grado en Ingeniería Química, Química y Ciencia y Tecnología de los Alimentos.

- Incrementar la empleabilidad y favorecer la inserción en el mercado laboral. En el diseño de todas las instalaciones se ha buscado mejorar la adquisición de competencias experimentales que son altamente demandadas por las empresas del sector Industrial en los graduados en Química, Ingeniería Química y Ciencia y Tecnología de los Alimentos.

- Garantizar el cumplimiento de las guías docentes y la adquisición de competencias. Las prácticas que se han implementado en este proyecto de innovación docente tienen como principal objetivo mantener las competencias a adquirir por parte de los estudiantes en las tres asignaturas obligatorias, aunque incrementando la motivación de los estudiantes mediante la resolución de casos prácticos en grupo.

- Mejora de la adquisición de competencias de las tres asignaturas abordadas. En las asignaturas abordadas en esta propuesta se imparten temas relacionados con la Ingeniería Térmica y Transmisión de Calor. Según las guías docentes de estas asignaturas, los estudiantes deben adquirir las siguientes competencias: *“Plantear y resolver los balances de propiedad que describen el cambio en un sistema debido al intercambio de calor”, “Entender qué es la transmisión de calor y cuáles son los mecanismos que permiten este fenómeno, conociendo y aplicando las ecuaciones*

*empíricas y leyes que permiten deducir flujos y caudales de energía calorífica para geometrías sencillas, además de los perfiles de temperatura correspondientes” y “Diseñar intercambiadores de calor sensible y latente de doble tubo e industriales”. El diseño de las dos prácticas de esta propuesta relacionadas con la Ingeniería Térmica ha buscado mejorar la adquisición de estas competencias previamente descritas.*

En las tres asignaturas se imparten también temas relacionados con las Operaciones de Separación. Según las guías docentes de estas asignaturas, los estudiantes deben adquirir las siguientes competencias: *“Formular y aplicar los conceptos, principios y teorías utilizadas en las operaciones básicas de la ingeniería química basadas en transferencia de materia” y “Explicar la transferencia de materia (concepto y mecanismos) y los equilibrios entre fases, en especial los existentes entre fases fluidas”*. Para adquirir estas competencias, se han desarrollado dos prácticas relacionadas con este bloque temático, que serán abordadas con la metodología de resolución de casos prácticos.

Finalmente, en las guías docentes de las tres asignaturas figuran las competencias *“Reconocer los fundamentos de la ingeniería de la reacción química”, “Realizar cálculos sencillos de cinética química” o “Describir los modelos cinéticos”* que se trabajarán en las dos prácticas del bloque de ingeniería de la reacción química mediante el estudio de una reacción química homogénea y una reacción química heterogénea.

- Incorporar innovaciones educacionales para preparar los ingenieros de una nueva generación, como las contempladas por la CDIO™ INITIATIVE que busca afianzar entre los estudiantes los fundamentos de la ingeniería a través de la Concepción-Diseño-Implementación-Operación (CDIO) de sistemas del mundo real.

- Fomentar la participación de miembros del PAS en proyectos de innovación docente. En este proyecto han participado dos técnicos de Laboratorio en el Departamento de Ingeniería Química y de Materiales. De esta forma, se han incrementado las relaciones existentes entre los miembros del PDI y el PAS participantes en esta propuesta, lo que podrá cristalizar en el futuro en nuevos proyectos y colaboraciones tanto en aspectos docentes como en investigación.

- Participación activa de estudiantes de Grado y Doctorado en la innovación docente. En este proyecto participado diez estudiantes de doctorado y tres estudiantes de Grado. Cuatro de los estudiantes de doctorado participantes, disfrutaban de contratos del programa de Formación de Profesorado Universitario (FPU o FPI), por lo que la inclusión en este proyecto les ha permitido la mejora de sus competencias docentes. Además, se ha fomentado la participación activa de los estudiantes de Grado participantes en la propuesta tanto en la mejora y optimización de las prácticas diseñadas, como en la optimización de los casos prácticos propuestos y en el diseño de nuevas instalaciones experimentales.

### 3. Metodología empleada en el proyecto

La metodología utilizada para la preparación de cada práctica experimental ha consistido en las siguientes etapas:

1. Diseño conceptual de las instalaciones experimentales. En primer lugar se ha definido el objetivo perseguido por la práctica de laboratorio, las competencias que se busca que adquieran los estudiantes con dicha práctica y los fundamentos teóricos a afianzar.
2. Diseño y construcción de la instalación experimental. En este caso se ha buscado emplear siempre materiales de bajo coste o el empleo de las impresoras 3D ya disponibles en el grupo de investigación de los miembros que han desarrollado este proyecto.
3. Preparación del guion de prácticas. Se han estructurado en forma de casos prácticos, donde los estudiantes tienen que responder a una serie de preguntas. Se han planteado preguntas sobre el objetivo de la práctica, sobre el montaje de la instalación experimental a partir del material que se les proporcione, qué experimentos deben realizar, fijando las condiciones experimentales, y preguntas sobre la interpretación de los resultados experimentales. Además, en los guiones se propone el uso de una metodología de trabajo colaborativo, donde cada grupo de prácticas trabajará en los siguientes puntos:
  - a. Entender el caso planteado
  - b. Realizar el montaje de la instalación experimental
  - c. Diseñar los experimentos necesarios
  - d. Realizar los experimentos
  - e. Discutir los resultados obtenidos

Entre punto y punto, se realizará una puesta en común toda la clase, para que entre todos vayan obteniendo las respuestas a las preguntas del caso (orientados por el docente responsable), antes de pasar al siguiente punto. Los docentes adaptarán este guion en función de las características concretas de cada asignatura y titulación.

4. Evaluación de las prácticas diseñadas, tanto de la metodología propuesta como de las instalaciones, por parte de los estudiantes participantes en el proyecto y corrección de errores detectados. En esta última etapa han participado de forma activa tanto los estudiantes de Grado como los estudiantes de Doctorado pertenecientes al grupo de trabajo del proyecto.

#### 4. Recursos humanos

El equipo docente participante ha estado constituido por ocho docentes que forman parte del Grupo de Catálisis y Operaciones de Separación de la UCM (ref. 910602). A continuación, se indican los nombres y categorías de los miembros del PDI participantes en este proyecto:

- 3 Catedráticos: Gabriel Ovejero Escudero, Juan García Rodríguez y José Antonio Delgado Dobladez.
- 1 Profesor Titular: Vicente Ismael Águeda Maté.
- 2 Profesores Contratado Doctor: Silvia Álvarez Torrellas y Marcos Larriba Martínez, como responsable del proyecto.
- 2 Profesores Ayudante Doctor: María Martín Martínez y Jaime Carbajo Olleros.

Los docentes participantes en este proyecto han sido los responsables de liderar el diseño conceptual de las instalaciones experimentales, que buscan garantizar la adquisición de competencias experimentales por parte de los estudiantes de las asignaturas de introducción a la ingeniería química. También han participado dos investigadores postdoctorales en estas labores, Daniel Aranda y Estrella Serra. Además, los miembros del PDI han coordinado la labor del resto de miembros participantes en el proyecto, que forman parte del PAS y del colectivo de estudiantes.

En este proyecto ha participado en el equipo de trabajo dos miembros del PAS, Laura García y Elisa Guerrero, Técnicos de Laboratorio en el Departamento de Ingeniería Química y de Materiales.

En este proyecto además han participado diez estudiantes de doctorado del programa de Ingeniería Química: Gonzalo Pascual, Diego Rodríguez, Andrés Cañada, Eva Sanz, Pablo Gutiérrez, Rubén Calero, Carlos Alberto Sánchez, Javier Cañas, Diego Huber y Eva Portillo. Estos estudiantes de doctorado han participado en el diseño conceptual de las instalaciones, ya que la gran mayoría trabaja con estos materiales en sus tesis doctorales.

Finalmente han participado estudiantes del Grado en Ingeniería Química y del Máster en Ingeniería Química: Ingeniería de Procesos: Diego Martín, Pablo Suárez e Ignacio Sánchez. Estos antiguos y actuales estudiantes del Grado en Ingeniería Química de la UCM conocen a la perfección las competencias a adquirir en las asignaturas de introducción a la ingeniería química. Su aportación y experiencia ha sido fundamental para diseñar de forma adecuada las instalaciones experimentales.

## 5. Desarrollo de las actividades

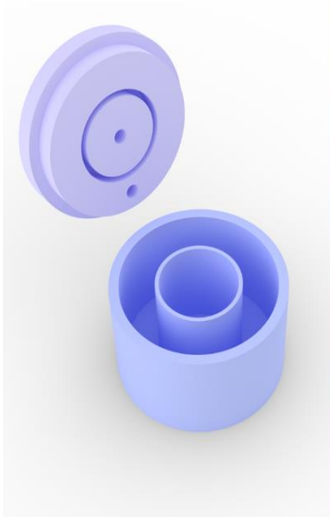
### Prácticas del Bloque de Ingeniería Térmica

Para lograr que los estudiantes adquieran las competencias previamente citadas de este bloque, se han desarrollado los materiales para elaborar dos prácticas de laboratorio centradas en el estudio y descripción de los mecanismos de transmisión de calor.



Para la 1ª práctica se han diseñado y construido pequeños intercambiadores de calor realizados por impresión 3D en el que se hace circular agua procedente del grifo por una de las secciones mientras que en la otra hay agua calentada previamente a 50°C. Los estudiantes variarán el caudal de agua procedente del grifo y medirán las temperaturas de salida con termómetros de alcohol, obteniendo los parámetros de

diseño del cambiador. Finalmente, realizarán el balance de energía en el cambiador y responderán a las cuestiones planteadas en los casos prácticos.



La 2ª práctica está centrada en el análisis de los mecanismos de transmisión de calor mediante convección y conducción utilizando una pequeña instalación realizada mediante impresión 3D formada por dos recipientes con una pared en común. En ellos, situarán agua a dos temperaturas diferentes y medirán la variación de la temperatura en función de la

diferencia de temperatura inicial, del tiempo y la utilización o no de agitación para estudiar la convección. También realizarán los balances de energía en la instalación determinando si existen pérdidas de energía hacia el exterior.

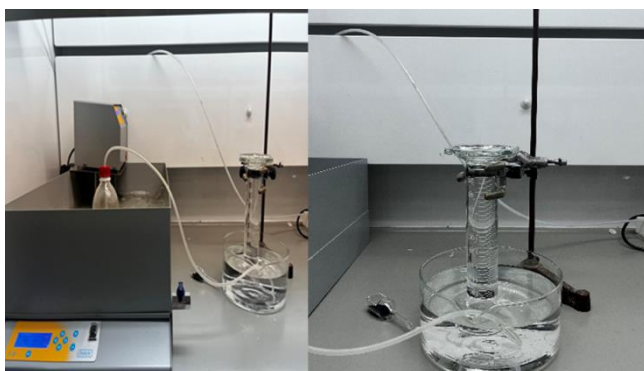
## Prácticas del bloque de Ingeniería de la Reacción Química

Para trabajar de manera práctica las competencias previamente descritas y favorecer el aprendizaje significativo de los principios de la ingeniería de la reacción química se han implementado dos prácticas:



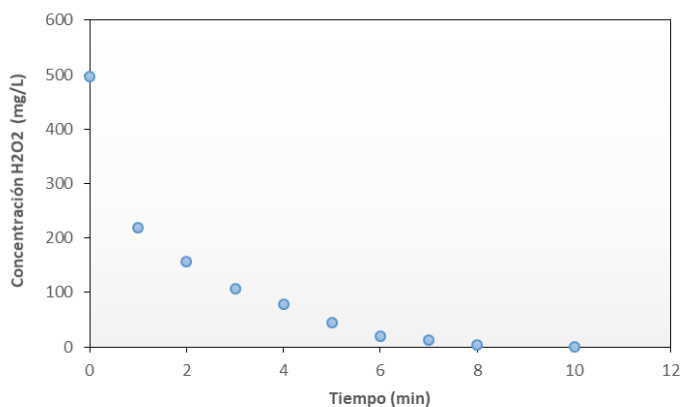
En la primera práctica realizarán la determinación de la cinética de una reacción homogénea. Para ello se ha diseñado una práctica que permite el estudio cinético de la reacción de decoloración del violeta cristal empleando los dos métodos clásicos de análisis de datos cinéticos: método diferencial e integral. Para hacer el seguimiento

de la concentración de reactivo se propone el empleo de medidores portátiles de colorimetría como el mostrado en la fotografía, que implican un coste mucho menor al de los colorímetros empleados en investigación. Esta práctica servirá para reforzar conocimientos impartidos en el aula como la deducción del orden de reacción y la constante cinética.

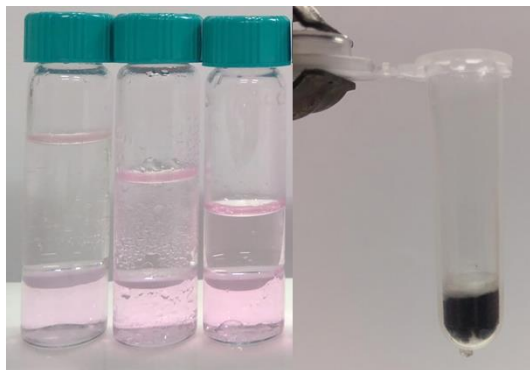
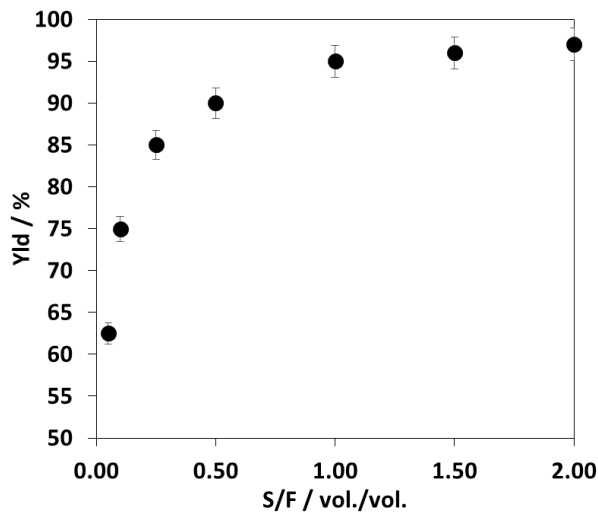


En la segunda práctica se busca introducir el concepto de reacción química heterogénea. Se ha diseñado una instalación de bajo coste para poder realizar el seguimiento en la descomposición catalítica de peróxido de hidrógeno con un carbón activado.

El seguimiento de la concentración de  $\text{H}_2\text{O}_2$  con el tiempo se realizará mediante la determinación de la formación de  $\text{O}_2$  con una probeta invertida como la mostrada en la fotografía. Una vez obtenidos estos datos cinéticos los estudiantes podrán llevar cabo un estudio cinético de catálisis heterogénea utilizando modelos Langmuir-Hinshelwood.



## Prácticas del bloque de Operaciones de Separación

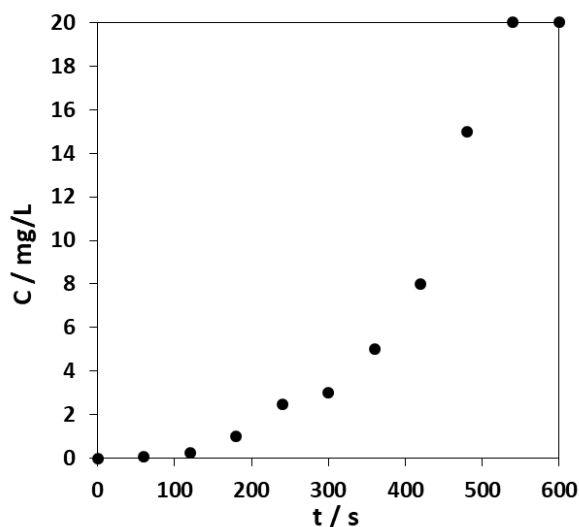


**Práctica de  
de extracción  
líquido-líquido**

**Lecho  
de Adsorción**

Se han diseñado dos prácticas de laboratorio de bajo coste que tienen como objetivo abordar dos operaciones de separación: la extracción y la adsorción.

En la 1ª práctica se estudiará la extracción líquido-líquido de un colorante soluble en agua, la rodamina B, empleando como disolventes diferentes aceites esenciales de origen vegetal. Los estudiantes optimizarán dos variables de la operación: la concentración inicial de colorante y la relación entre el disolvente y el alimento acuoso, determinando la concentración final de colorante en la disolución acuosa mediante un medidor de colorimetría portátil, previamente mostrado en la fotografía. Mediante balances de materia determinarán la variación del rendimiento de extracción con la relación disolvente/alimento mostrada en la figura superior.



En la 2ª práctica se empleará un pequeño lecho de adsorción empleando carbón activado como el mostrado en la fotografía superior. Los estudiantes harán pasar a través de este lecho varias disoluciones del colorante soluble en agua, la rodamina B, determinando la curva de rotura del lecho mostrada en la figura, utilizando los medidores portátiles de colorimetría descritos previamente. Para cada uno de los puntos experimentales realizarán

un balance de materia para determinar la cantidad de colorante que ha quedado retenida en el carbón activado y la cantidad de colorante que ha permanecido en la fase acuosa.