



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

Proyecto de Innovación

Convocatoria 2021/22

Nº de proyecto: 142

Lab at home: prácticas experimentales de Ingeniería Química en tiempos de pandemia.

Nombre del responsable del proyecto:

Marcos Larriba Martínez

Facultad de Ciencias Químicas

Departamento de Ingeniería Química y de Materiales

1. Objetivos propuestos en la presentación del proyecto

El objetivo principal del proyecto ha consistido en el diseño y la implementación de prácticas de laboratorio para ser empleadas en situaciones de docencia no presencial en asignaturas de Ingeniería Térmica y Operaciones de Separación de la titulación del Grado en Ingeniería Química. El objetivo de estas prácticas es la adquisición de competencias asociadas a las mismas a los estudiantes que se encuentren en situación de confinamiento en el momento de impartición de las mismas. Estas prácticas se desarrollarán empleando pequeñas instalaciones construidas y diseñadas por los miembros participantes en este proyecto empleando materiales de bajo coste y elementos de uso cotidiano (agua, azúcar, horno microondas) que los estudiantes tienen a su disposición en sus domicilios.

Este objetivo general se concretará en los siguientes objetivos específicos:

- Garantizar el grado de experimentalidad de la titulación del Grado en Ingeniería Química.
- Garantizar la adquisición de competencias de los estudiantes matriculados en las dos asignaturas pese a que se produzcan situaciones de docencia no presencial y/o semipresencial.
- Diseñar instalaciones para prácticas de laboratorio.
- Preparar los guiones de las prácticas de laboratorio para que los estudiantes puedan realizarlas en sus domicilios.
- Incrementar el interés de los estudiantes por la investigación y el diseño de instalaciones experimentales.
- Incrementar la empleabilidad de los egresados al adquirir competencias experimentales demandadas por las empresas del sector Químico-Industrial.
- Fomentar el trabajo conjunto de miembros del PDI, PAS y estudiantes de la UCM para la consecución de un proyecto conjunto.

Propuestas de valor del proyecto y necesidades a las que responde:

- Garantizar la realización de prácticas experimentales. Durante los cursos 2019/20 y 2020/21, se han detectado las limitaciones existentes al sustituir, debido a la pandemia, las prácticas experimentales por prácticas de laboratorio virtuales centradas únicamente en el tratamiento y análisis de datos experimentales. Por este motivo, con este proyecto se pretendió responder a este problema detectado y satisfacer las demandas de los estudiantes, garantizando que los estudiantes en situación de confinamiento realizarán prácticas experimentales, afrontando las dificultades asociadas a la experimentación, aunque se produzcan periodos de docencia no presencial debido a situaciones de crisis sanitarias.

- Garantizar el cumplimiento de las guías docentes y la adquisición de competencias. Las prácticas que se van a implementar en este proyecto de innovación docente tienen como principal objetivo mantener las competencias a adquirir por parte de los estudiantes en las dos asignaturas obligatorias, aunque los laboratorios se realicen de forma no presencial o existan estudiantes confinados en su domicilio durante el periodo de realización de las prácticas.

- Fomentar el interés de los estudiantes por la investigación aplicada. Se mostrará mediante vídeos y presentaciones a los estudiantes todo el proceso de diseño de las prácticas. De esta forma, se proporcionará información sobre estas metodologías innovadoras que no se imparten en ninguna de las asignaturas del Grado en Ingeniería Química. Además, se fomentará la participación de los estudiantes matriculados en las asignaturas en la mejora de las instalaciones ya diseñadas o en el desarrollo de nuevas instalaciones para las prácticas de laboratorio de las diferentes asignaturas del Grado.

- Incrementar la empleabilidad y favorecer la inserción en el mercado laboral. Al mantener el grado de experimentalidad de la titulación, se mantendrá el nivel de formación de los egresados, garantizando la adquisición de estas competencias experimentales que son altamente demandadas por las empresas del sector Químico-Industrial en los graduados en Ingeniería Química.

- Fomentar el aprendizaje autónomo y la adquisición de competencias. Cada una de las prácticas de laboratorio se va a diseñar con el objetivo de que ayuden a los estudiantes a adquirir las competencias experimentales marcadas en la guía docente de cada asignatura. Además, se empleará una metodología docente que permitirá el aprendizaje autónomo de los estudiantes durante la adquisición de los datos experimentales, pero siendo siempre atendidos por uno o varios docentes para la resolución de dudas y cuestiones.

- Fomentar la participación de miembros del PAS en proyectos de innovación docente. En este proyecto participa Laura García Sánchez, Técnico de Laboratorio en el Departamento de Ingeniería Química y de Materiales. Aportará su amplia experiencia en el montaje y preparación de prácticas de laboratorio experimentales obtenida en su trayectoria como Técnico de Laboratorio en la UCM. Además, participa otra miembro del PAS, María Cristina Peinado, Técnico de Informática de la Facultad de Ciencias Químicas, que asesorará en el diseño de las instalaciones y en la preparación de los materiales audiovisuales para la explicación de las prácticas. De esta forma, se incrementarán las relaciones existentes entre los miembros del PDI y el PAS participantes en esta propuesta, lo que cristalizará en el futuro en nuevos proyectos y colaboraciones.

- Participación activa de estudiantes de Grado y Doctorado en la innovación docente. En esta solicitud han participado 9 estudiantes de doctorado y cuatro estudiantes de Grado. Tres 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 permitirá la mejora de sus competencias docentes.

2. Objetivos alcanzados

Con el desarrollo del proyecto de innovación docente durante el curso 2021/22, se han logrado diseñar y construir dos instalaciones experimentales para ser empleadas en los domicilios de los estudiantes matriculados en las asignaturas Ingeniería Térmica y Operaciones de Separación de tercer curso del Grado en Ingeniería Química. Estas instalaciones se suman a las cuatro prácticas ya diseñadas en el proyecto de innovación docente desarrollado durante el curso 2020/21, por lo que se dispone de un amplio abanico de instalaciones diseñadas y constuidas para ser empleadas en situaciones futuras de confinamiento.

En primer lugar, en el diseño de las instalaciones se ha perseguido que los estudiantes adquieran las competencias experimentales indicadas en las guías docentes de las asignaturas de Ingeniería Térmica y Operaciones de Separación. Según la guía docente de ambas asignaturas, los alumnos deben adquirir competencias experimentales relacionadas con la medición de parámetros en equipos e instalaciones de transmisión de calor y procesos de separación.

La guía docente de Ingeniería Térmica detalla cuatro competencias que deben adquirir los alumnos de la asignatura relacionadas con la práctica de evaporación desarrollada en este proyecto: realizar balances de materia y energía a un evaporador; proponer acciones para mejorar la eficacia en evaporación; evaluar la economía y el incremento útil de temperatura en un evaporador y proponer las condiciones más adecuadas de operación en un evaporador.

En la práctica de evaporación, los estudiantes prepararán varias disoluciones de azúcar en agua en distinta proporción. Estas disoluciones simulan los componentes principales de los zumos de fruta, que suelen concentrarse mediante procesos de evaporación. Los estudiantes realizarán el proceso de evaporación calentando las disoluciones alimento durante varios tiempos y a varias potencias empleando un microondas de uso doméstico. Para determinar el contenido en azúcar antes y después de la evaporación emplearán el medidor de contenido en azúcar portátil que se muestra en la figura 1, determinando el porcentaje en azúcar en una gota situada en el refractómetro.



Figura 1. Medidor de contenido en azúcar en agua mediante refractometría (izquierda). Ejemplo de medición que se puede realizar a través con el refractómetro (derecha).

En la guía docente de Operaciones de Separación, se indica que los estudiantes deben adquirir competencias específicas durante los laboratorios de dicha asignatura. La primera competencia es medir parámetros técnicos en equipos e instalaciones de procesos de separación basados en la transferencia de materia. La segunda competencia es identificar los principios en los que se basan los diferentes procesos de separación. Para que los alumnos adquieran ambas competencias, se han diseñado una práctica de extracción líquido-líquido de dos colorantes mediante un disolvente de origen natural, el geraniol. Los estudiantes identificarán los principios que gobiernan dicha operación de separación y optimizarán el proceso de extracción para lograr separar ambos colorantes que se les proporcionarán disueltos en agua.

La medición de los colorantes se realizará mediante un colorímetro portátil como el mostrado en la Figura 2. Este medidor de bajo coste determina las coordenadas de la escala CIELAB de las muestras medidas que se relacionará con la concentración de colorantes en la fase acuosa mediante un proceso de calibrado descrito en el apartado siguiente.

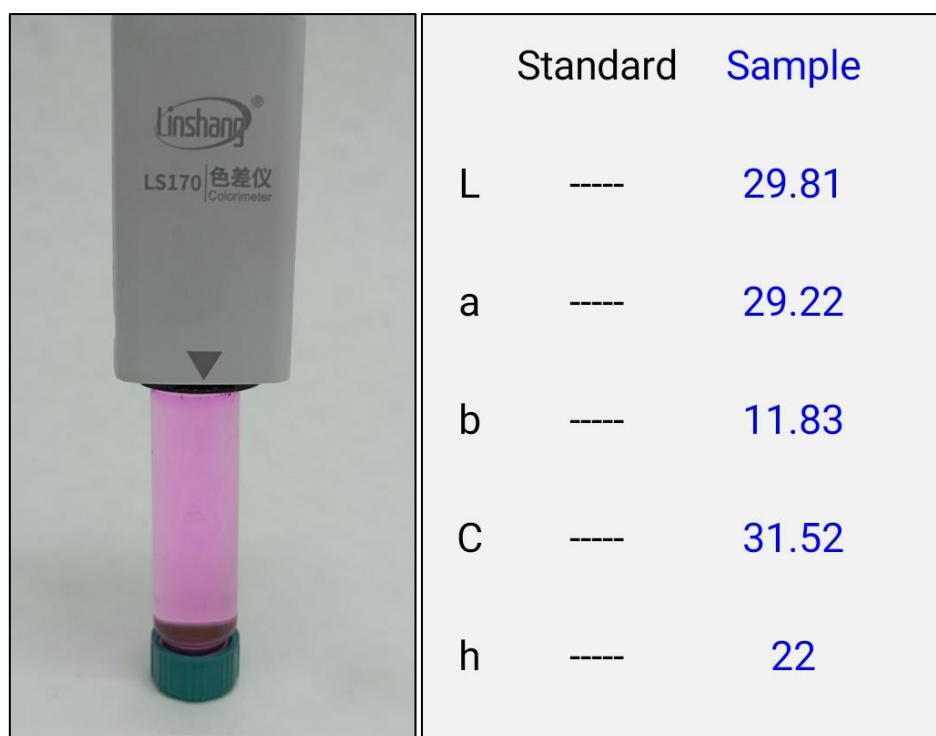


Figura 2. Metodología de medición del color con el colorímetro (izquierda) y resultados obtenidos de la medición en las coordenadas de color en la escala CIELAB (derecha).

Finalmente, para lograr la adquisición de las competencias de las dos asignaturas descritas previamente por parte de los estudiantes, se propone el empleo de una metodología mixta de los modelos educativos de aprendizaje autónomo y aprendizaje cooperativo en la obtención de los datos experimentales y la redacción del informe de laboratorio.

3. Metodología empleada en el proyecto

Las prácticas de laboratorio se han diseñado de tal forma que puedan ser realizadas por los estudiantes en sus domicilios empleando materiales de bajo coste que bien tengan en sus domicilios o sean enviados por los profesores de las asignaturas.

Para la práctica de Ingeniería Térmica centrada en la evaporación, los materiales empleados serán agua, azúcar y el medidor de contenido en azúcar mostrado previamente en la Figura 1.

En la práctica de Operaciones de Separación, todos los materiales serán proporcionados por los docentes, incluyendo las tres disoluciones alimento de los colorantes individuales y de la mezcla binaria de ellos mostrados en la Figura 3.



Figura 3. Disoluciones acuosas alimento para la práctica de extracción líquido-líquido. Izquierda: azul de bromotimol a 20 mg/L, centro: azul de bromotimol y rodamina B a 10mg/L de cada colorante, derecha: rodamina B 20 mg/L.

También se les proporcionarán viales de vidrio y pipetas Pasteur en los que prepararán los patrones de cada colorante mostrados en la Figura 4, diluyendo sucesivamente la disolución alimento de los colorantes individuales. Posteriormente realizarán los ensayos de extracción en viales de vidrio empleando el geraniol proporcionado por los docentes. En el apartado 5 se describen en mayor detalle los ensayos de extracción líquido-líquido.

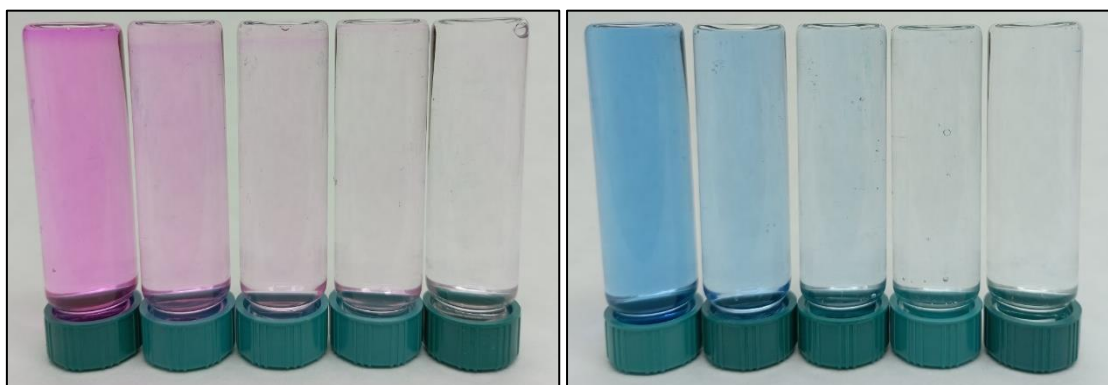


Figura 4. Patrones de rodamina B (izquierda) y azul de bromotimol (derecha) empleados para calibrar el colorímetro y obtener las rectas de calibrado que relacionan la medición del colorímetro con la concentración de colorante.

4. Recursos humanos

El equipo docente participante ha estado constituido por siete 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.
- 1 Profesora Ayudante Doctor: María Martín Martínez.

Los docentes participantes en este proyecto han sido los responsables del diseño conceptual de las instalaciones experimentales diseñadas, que buscan garantizar la adquisición de competencias experimentales por parte de los estudiantes confinados en sus domicilios. Además, 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, Técnico de Laboratorio en el Departamento de Ingeniería Química y de Materiales y María Cristina Peinado, Técnico de Informática de la Facultad de Ciencias Químicas.

En este proyecto además han participado una investigadora postdoctoral: Estrella Serra y ocho estudiantes de doctorado del programa de Ingeniería Química: Rubén Calero, Andrés Cañada, Javier Cañas, Pablo Gutiérrez, Gonzalo Pascual, Diego Rodríguez, Carlos Alberto Sánchez y Eva Sanz.

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. Asimismo, varios de los estudiantes abordan en sus tesis doctorales el empleo de la operación de separación de extracción líquido-líquido en el tratamiento de aguas residuales, por lo que han aportado su experiencia en el diseño de la práctica de Operaciones de Separación.

Finalmente han participado estudiantes del Grado en Ingeniería Química y del Máster en Ingeniería Química: Ingeniería de Procesos: Francisco Javier Carreras, Roberto Nájera, Laura Laila Sánchez y Alberto Santos. Estos estudiantes del Grado en Ingeniería Química de la UCM conocen a la perfección las competencias a adquirir en las asignaturas de Operaciones de Separación e Ingeniería Térmica. Su aportación y experiencia ha sido fundamental para diseñar de forma adecuada las instalaciones experimentales.

5. Desarrollo de las actividades

Como se ha descrito en los apartados anteriores, en este proyecto se han diseñado dos prácticas de laboratorio que puedan ser desarrolladas por estudiantes en situación de confinamiento en sus domicilios.

La práctica de laboratorio de la asignatura de Ingeniería Térmica está centrada en determinar las condiciones de operación que permiten concentrar una disolución de azúcar en agua hasta un valor concreto, minimizando costes de operación. Para ello, los estudiantes prepararán diferentes disoluciones que representen la concentración de azúcar habitual en diferentes zumos de frutas. A continuación, empleando un microondas doméstico, calentarán volúmenes constantes de las disoluciones, midiendo el contenido final de azúcar en la disolución mediante el refractómetro mostrado en la Figura 1. Los estudiantes deberán optimizar las variables tiempo y potencia para alcanzar el contenido habitual de azúcar en los zumos concentrados que ronda el 10% en peso. Realizarán balances de materia y de energía en la disolución alimentada, para determinar así el coste en € por unidad de volumen de disolución y seleccionar las condiciones óptimas de evaporación.

La segunda de las prácticas diseñadas tiene como objetivo optimizar un proceso de extracción líquido-líquido que permita separar dos colorantes disueltos en agua: la rodamina B y el azul de bromotimol, empleando como disolvente geraniol, un terpeno obtenido de aceites esenciales vegetales.

En primer lugar, los estudiantes estudiarán la extracción individual de cada colorante por separado, partiendo de una disolución alimento de 20 mg/L. En la Figura 5, se muestran los ensayos realizados de extracción de rodamina B empleando geraniol en tres relaciones disolvente/alimento en volumen en valores: 2,0, 1,0 y 0,5. Como se puede observar, la práctica totalidad del colorante fue extraído por el disolvente (fase superior en la fotografía), alcanzando rendimientos de extracción superiores al 95% de acuerdo a las mediciones realizadas con el colorímetro mostrado en la Figura 2.

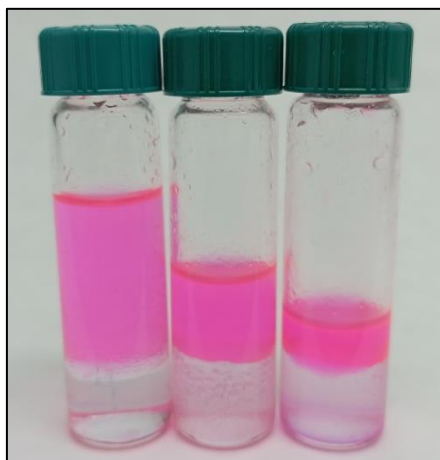


Figura 5. Viales obtenidos tras la extracción individual de rodamina B con geraniol a tres valores distintos de relación disolvente/alimento.

A continuación, los estudiantes realizarán la extracción del azul de bromotimol a partir de una disolución de colorante de 10 mg/L. En este caso, el azul de bromotimol presenta dos estructuras en función del pH. A pH ácido, el azul de bromotimol se encuentra en forma neutra y muestra un color amarillo, mientras que, a pH básico, el azul de bromotimol presenta una carga negativa y muestra un color azul.

Para estudiar el efecto del pH los estudiantes realizarán la extracción a pH ácido y a pH básico, obteniendo los resultados mostrados en la Figura 6. Como se puede observar, en los viales de la izquierda, que se encuentran a pH básico, el azul de bromotimol apenas es extraído, quedándose en la fase acuosa de la parte inferior, ya que al encontrarse en forma aniónica no es extraído por el disolvente orgánico. Para realizar la extracción a pH ácido, se indicará a los estudiantes que añadan a la disolución alimento unas gotas de vinagre o de zumo de limón o naranja. Al realizar la extracción a pH ácido obtendrán los resultados mostrados en la parte derecha de la Figura 6, alcanzándose altos rendimientos de extracción de azul de bromotimol, que en pH ácido se encuentra en forma neutra y presenta mayor afinidad por el geraniol que por el agua.

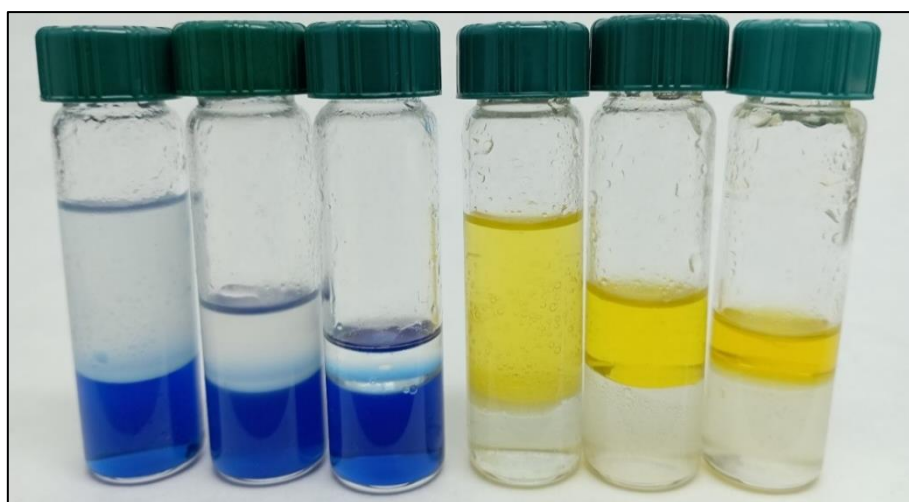


Figura 6. Viales obtenidos tras la extracción individual de azul de bromotimol con geraniol en función del pH. Izquierda: en medio básico. Derecha: medio ácido tras añadir unas gotas de vinagre.

Una vez determinadas las condiciones de pH y relación disolvente/alimento que maximizan la extracción individual de la rodamina B y del azul de bromotimol, los estudiantes abordarán la extracción simultánea de ambos colorantes con geraniol.

En la Figura 7 se muestran los resultados de extracción líquido-líquido con geraniol a pH básico y pH ácido. Como puede verse en la zona izquierda de la fotografía, a pH básico se lograría la separación de los colorantes, obteniendo la rodamina B en la fase orgánica rica en geraniol y permaneciendo el azul de bromotimol en la fase acuosa. Sin embargo, si la extracción se realizara a pH ácido, ambos colorantes se extraerían simultáneamente con el geraniol, eliminándolos del agua, pero sin lograr una separación de los contaminantes entre ellos. Esa separación sólo podría lograrse extrayendo primero a pH básico la rodamina B con geraniol, para, a continuación, realizar una segunda extracción con geraniol del azul de bromotimol a pH ácido.



Figura 7. Extracción extracción simultánea de rodamina B y azul de bromotimol con geraniol en función del pH. Izquierda: en medio básico. Derecha: en medio ácido tras añadir unas gotas de vinagre.

A modo de resumen, en la Figura 8, se muestran los 15 ensayos de extracción que deberán realizar los estudiantes en la práctica de extracción individual y simultánea de colorantes de disoluciones acuosas con un disolvente de origen vegetal.

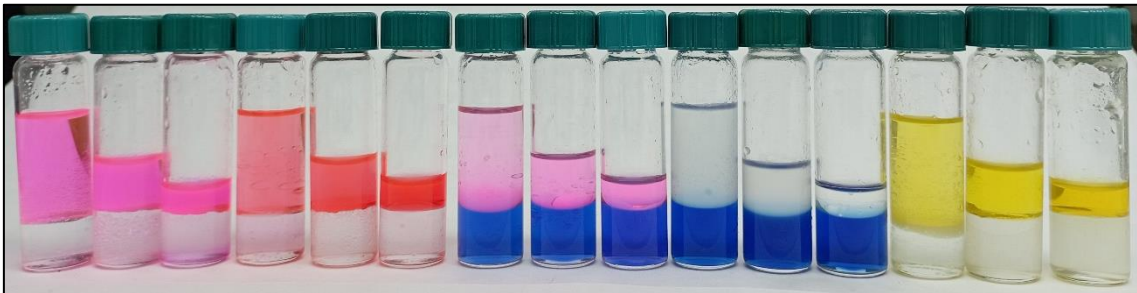


Figura 8. Viales obtenidos en la práctica de extracción líquido-líquido. De izquierda a derecha: extracción individual de rodamina; extracción simultánea de rodamina B y azul de bromotimol en medio ácido; extracción simultánea de rodamina B y azul de bromotimol en medio básico; extracción individual de azul de bromotimol en medio ácido; extracción individual de azul de bromotimol en medio básico.

Cabe finalmente destacar que las prácticas de laboratorio desarrolladas en este Proyecto de Innovación Docente serán presentadas y difundidas en el V Congreso de Innovación Docente en Ingeniería Química que se desarrollará en el mes de julio de 2022 en la ciudad de Madrid.