

Materials and Nanomaterials Laboratory Practical Sessions for First Year Physics Engineering Students

Vicente Martí Centelles,^{a,b,#,*} Andrea Bernardos Bau,^{a,b,#,*} Maria Dolores Marcos Martínez,^{a,b} Susana Querol Magdalena,^b y Joana Oliver Talens^b

^a Instituto Interuniversitario de Investigación de Reconocimiento Molecular y Desarrollo Tecnológico (IDM) Universitat Politècnica de València, Universitat de València. Camino de Vera, s/n. 46022, Valencia, Spain.

^b Departamento de Química, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n. 46022, València, Spain

[#] Estos autores han contribuido igualmente a este trabajo. * Autores de correspondencia

Email: VMC vimarcel@upv.es ; ABB anberba@upvnet.upv.es ; MDMM mmarcos@qim.upv.es 

How to cite: Vicente Martí Centelles, Andrea Bernardos Bau, Maria Dolores Marcos Martínez, Susana Querol Magdalena, Joana Oliver Talens. 2022. Materials and Nanomaterials Laboratory Practical Sessions for First Year Physics Engineering Students. En libro de actas: *VIII Congreso de Innovación Educativa y Docencia en Red*. Valencia, 6 - 8 de julio de 2022. <https://doi.org/10.4995/INRED2022.2022.15908>

Abstract

The subject "Chemical Foundations for Engineering I" is part of the basic training module of the Physics Engineering Degree that is taught at the Higher Technical School of Telecommunications Engineering at the Universitat Politècnica de València. This subject consists of a theoretical part, in which basic chemical concepts are taught in addition to materials science. This communication presents the development of practical laboratory sessions with the aim to introduce an educational improvement and to be able to apply the material science concepts of the subject in the laboratory through affordable experiments for first-year students that allow them to better assimilate the contents of the subject. The students have actively participated in the laboratory sessions and have raised their doubts about the processes carried out and their theoretical bases.

Keywords: *skills, laboratory practices, chemistry, materials science, training, nanomaterials.*

Resumen

La asignatura "Fundamentos Químicos para Ingeniería I" forma parte del módulo de formación básica del Grado de Ingeniería Física que se imparte en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación en la Universitat Politècnica de Valencia. Esta asignatura consta de una parte teórica, en la que se enseñan los conceptos químicos básicos además de ciencia de los materiales. En esta comunicación se presenta el desarrollo de sesiones prácticas de laboratorio con el objetivo de introducir una mejora educativa y poder aplicar en el laboratorio los conceptos de ciencia de los materiales de la asignatura a través de experimentos asequibles a estudiantes de primer curso que les permitan una mejor asimilación de los contenidos de la asignatura. Los alumnos han participado de forma activa

en las sesiones de laboratorio y nos han planteado sus dudas sobre los procesos realizados y las bases teóricas de los mismos.

Palabras clave: *competencias, prácticas de laboratorio, química, ciencia de los materiales, formación, nanomateriales.*

Introducción

La asignatura “Fundamentos Químicos para Ingeniería I” es una asignatura de química general que forma parte del módulo de formación básica del Grado de Ingeniería Física que se imparte en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación en la Universitat Politècnica de València. Este grado empezó a impartirse en el curso 2021-22 y, por tanto, esta asignatura empezó a impartirse en el curso actual. La asignatura tiene 6,0 créditos que se dividen en sesiones de teoría, sesiones de resolución de problemas, y prácticas de laboratorio que se realizan en el Departamento de Química.

La asignatura posee un doble carácter teórico y práctico. En el aspecto teórico se explican los fundamentos químicos necesarios para entender las propiedades químicas de la materia y, en concreto, aquellos conceptos necesarios para entender la química de materiales, también conocida como Ciencia de los Materiales. De hecho, en esta asignatura hay 7 unidades didácticas dedicadas a la química de materiales, y un tema dedicado a nanomateriales. En el aspecto práctico se plantea tanto la resolución de problemas en el aula como la realización de prácticas de laboratorio. La resolución de problemas está enfocada a la obtención o predicción de propiedades de los materiales a partir de datos de propiedades químicas de los compuestos. De forma similar, en las prácticas de laboratorio los alumnos se enfrentan a problemas relacionados con la química experimental y, en el caso de las prácticas de materiales, con las particularidades que aparecen durante la preparación de materiales y la determinación de sus propiedades. Como, por ejemplo, la síntesis de materiales que requiere obtener una cantidad determinada del material con la pureza suficiente para realizar los análisis y estudios correspondientes.

El proyecto de mejora educativa (Murillo Torrecilla, 2003; Pujolás, 2011) que se ha desarrollado para esta asignatura en el curso 2021-22 consiste en el desarrollo de dos prácticas innovadoras de laboratorio en las que los alumnos tienen que preparar **materiales porosos y nanoparticulados** de forma que se les facilita el contacto directo con la síntesis de materiales. Los estudiantes se distribuyeron en parejas para la realización de cada una de las dos sesiones prácticas. En estas sesiones los alumnos aprendieron aspectos básicos sobre la preparación de materiales y realizaron diferentes tipos de análisis y estudios para caracterizar los materiales obtenidos.

Objetivos

Los objetivos generales del presente trabajo son los siguientes:

- Mejorar la calidad educativa de una asignatura concreta, en este caso, “Fundamentos Químicos para Ingeniería I” del Grado de Ingeniería Física mediante el desarrollo de un proyecto de mejora educativa.
- Mejorar la calidad educativa de la titulación, en este caso Grado de Ingeniería Física, a través de prácticas de laboratorio innovadoras y memorias de laboratorio que incluyen fotografías de los experimentos realizados.
- Mejorar los resultados académicos del Grado de Ingeniería Física de forma que la nota media de las prácticas de laboratorio innovadoras sea de mayor que las prácticas tradicionales

- Mejorar el aprendizaje del estudiante, incluyendo el aprendizaje de los conceptos relacionados con la preparación de materiales y la determinación de sus propiedades, a través del desarrollo de las sesiones prácticas y mediante la realización de la memoria de laboratorio correspondiente.
- Promocionar una formación integral del estudiante mediante el desarrollo de prácticas innovadoras basadas en la síntesis de materiales de vanguardia y el ensayo de sus propiedades mediante instrumentación científica.

Por otra parte, el objetivo específico de este trabajo es la elaboración de dos sesiones de prácticas de laboratorio con un nivel adecuado para explicar los conceptos que aparecen en el temario de la asignatura. Dentro de este objetivo específico, las nuevas prácticas presentan el valor añadido de incluir los conceptos y la experimentación en síntesis de materiales, temática que no suele aparecer en las asignaturas de Química general en los primeros cursos de grado. La finalidad es facilitar una mejor asimilación de los conocimientos avanzados de la asignatura a través del trabajo con materiales cuya estructura química sea representativa de los conceptos del tema de teoría sobre nanomateriales con el fin de obtener un mayor aprovechamiento por parte de los alumnos. Las mejoras propuestas se cuantificarán a través de la nota media de las memorias de las prácticas innovadoras con respecto a la nota media de las prácticas tradicionales.

Desarrollo de la innovación

La mejora concreta de este proyecto que se propone para el curso 2021/2022 consiste en la elaboración de dos prácticas de laboratorio innovadoras que se adapten al contenido de la asignatura sobre los temas de ciencia de los materiales, teniendo en cuenta, tanto la teoría de aula, como las prácticas de aula. Para ello se ha tenido en cuenta el perfil del alumnado de esta asignatura como es, por ejemplo, el nivel tan diferente en Química que han adquirido durante su formación en educación secundaria. Así, algunos alumnos no han cursado Química en segundo curso de bachillerato y su base de conocimientos en esta materia es menor en comparación con los alumnos que si han cursado esta asignatura. Por otra parte, los alumnos que han cursado Química en el instituto en segundo de bachillerato parecen mostrar un mayor interés y tienen un nivel de conocimientos de Química más elevado. Cabe destacar que el perfil de los alumnos también puede depender de la nota de corte de entrada en la titulación. En nuestro caso, los alumnos necesitan una nota de acceso a la universidad elevada (Spencer, 1999).

Por un lado, en las sesiones de resolución de problemas, la metodología se basa en la resolución de problemas prácticos en la pizarra. Para ello, se lee el enunciado en voz alta y se plantea de forma esquemática el enunciado del problema en la pizarra. Después, se dejan unos minutos para que los alumnos piensen las posibles formas de afrontar la resolución del problema. Por último, el profesor resuelve el problema mientras va haciendo preguntas a los alumnos para que reflexionen sobre los pasos importantes en la resolución del problema. En estas sesiones los alumnos desarrollan la capacidad de solucionar problemas de forma teórica, mientras que en las sesiones prácticas de laboratorio el objetivo es poner en práctica dichas capacidades (James, 2021).

Por otro lado, la metodología utilizada durante las prácticas de laboratorio está enfocada a que el alumno adquiera las destrezas necesarias para la vida laboral real mientras se familiariza con la asignatura a partir de la preparación de distintos materiales y nanomateriales. Para realizar las sesiones prácticas los alumnos disponen de un guion con toda la información detallada, incluyendo los esquemas sintéticos (Fig. 1) y detalles de montajes experimentales (Fig. 2). En comparación con las prácticas tradicionales programadas en la mayoría de cursos de química general, las prácticas innovadoras que hemos desarrollado incorporan la síntesis de materiales y la medida de propiedades características y distintivas de cada material. En este sentido, mientras que en las prácticas tradicionales los alumnos solo realizan una serie de experimentos

basados en reacciones químicas estándar (reacciones ácido base, reacciones redox, o reacciones de precipitación), en las prácticas innovadoras deben realizar diferentes síntesis de materiales de última generación (incluyendo nanopartículas y materiales tipo *metal-organic framework* también conocido como MOF) que se están desarrollando actualmente a nivel de investigación con aplicaciones innovadoras en diferentes campos.

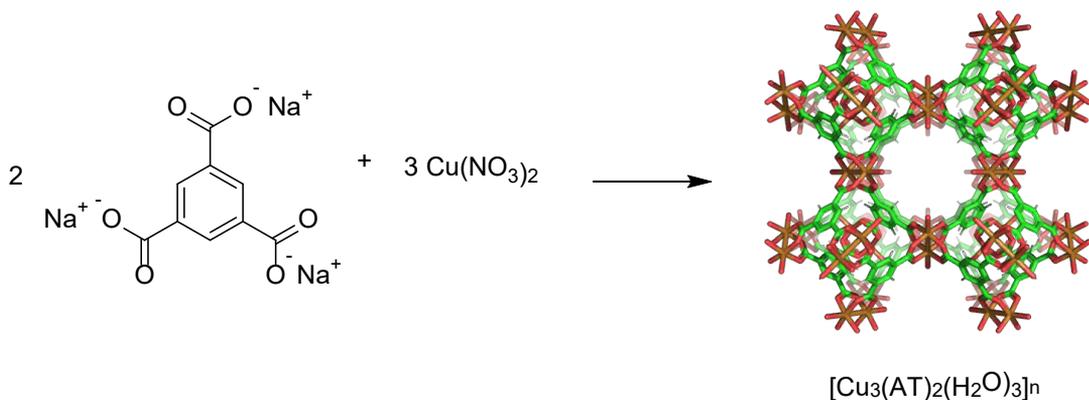


Fig. 1. Esquema sintético para la formación de un nanomaterial poroso.

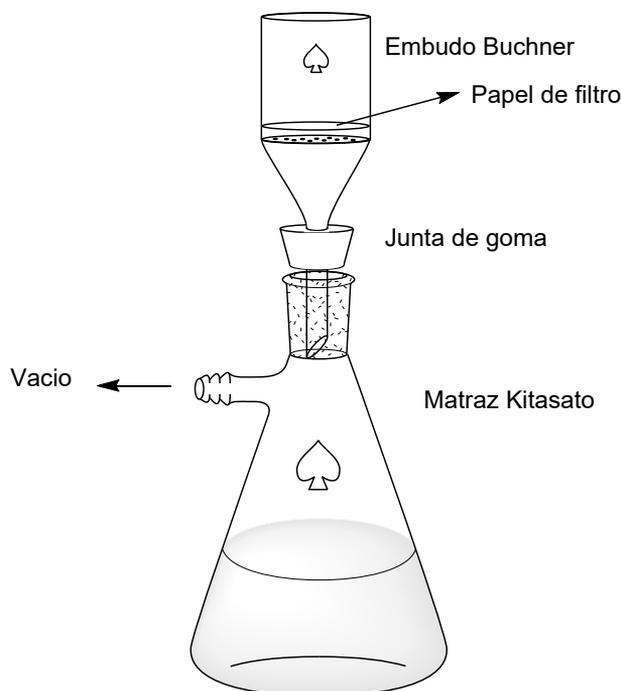


Fig. 2. Sistema de filtración a vacío usado para la purificación de materiales.

La idea general a la hora de impartir las clases de prácticas de laboratorio es que el alumno realice experiencias reales con el fin de adquirir destrezas (Sánchez, 2017). Teniendo en cuenta estos aspectos, se intenta siempre que la forma de impartir las clases sea lo más participativa posible, planteando preguntas a los alumnos para que puedan dar su respuesta en base a los conocimientos de que disponen. Otras veces

durante la introducción teórica se invita a los alumnos a revisar el material y el instrumental de laboratorio, para que tengan una idea más clara de las instrucciones descritas en el guion de prácticas y cómo utilizarlo. Por desgracia, tener un número de alumnos elevado por grupo de prácticas puede impedir muchas veces realizar una clase más participativa, ya que esto significaría agotar todo el tiempo de la sesión de laboratorio en la resolución de preguntas.

En las sesiones de prácticas, el alumno se enfrenta a la práctica de la siguiente forma: en primer lugar, antes de ir al laboratorio, lee con detalle el guion de prácticas donde están explicados todos los detalles y pasos que debe seguir para hacer la práctica, además de una introducción al tema. Ya en el laboratorio, tras una breve introducción por parte del profesor, los alumnos realizan las prácticas por parejas siguiendo paso a paso las indicaciones del guion. Durante el desarrollo de la práctica, de forma individual, cada alumno debe tomar en la libreta de laboratorio, con el suficiente detalle, las anotaciones oportunas de las observaciones que realice durante el desarrollo de la sesión. Esto les servirá para realizar las diferentes actividades relacionadas con el trabajo práctico tales como el informe de laboratorio o las cuestiones que resuelven en el informe de la sesión además de poder repetir el experimento usando sus propias anotaciones, que es la finalidad de la libreta de laboratorio en un contexto profesional.

Otro aspecto clave que se trabaja en las prácticas de laboratorio es el aprendizaje de habilidades (Sánchez, 2017). Las habilidades necesitan un contexto desde el que adquirirlos y aplicarlos, es decir, necesitan un marco de conocimiento (Espinosa-Ríos, 2016). La adquisición de habilidades es un proceso gradual. Esto se manifiesta en que su actuación al principio es imperfecta y, en la medida en que la habilidad correspondiente se va adquiriendo, la actuación va perfeccionándose. Un aspecto importante en el proceso de enseñanza aprendizaje de habilidades es poder realizar una evaluación sobre cómo va transcurriendo el aprendizaje de la habilidad concreta. Para conseguir esta evaluación es necesario contar con los métodos de evaluación diseñados de forma correcta que permitan valorar el aprendizaje de los estudiantes (Inda, 2008).

Para poder evaluar el aprendizaje de una habilidad concreta, es necesario que el estudiante lleve a cabo las acciones componentes en el procedimiento correspondiente a la habilidad (realizando de forma ordenada las diferentes acciones que forman la habilidad). De esta forma el profesor puede observar el dominio de la habilidad por parte del alumno en su actuación. Por ejemplo, para evaluar correctamente las habilidades de los alumnos en las sesiones de prácticas de laboratorio, es fundamental realizar anotaciones durante el transcurso de las prácticas. Así, los siguientes puntos deben tenerse en cuenta a la hora de llevar a cabo la evaluación de las habilidades adquiridas en el laboratorio:

- ¿El alumno toma las medidas de seguridad adecuadas a la hora de manipular los reactivos?
- ¿El alumno usa el material de vidrio adecuado para cada reactivo?
- ¿El alumno toma las medidas de seguridad adecuadas a la hora de preparar el montaje experimental?
- ¿El alumno deposita los reactivos, disolventes, y residuos generados en los experimentos en el recipiente adecuado una vez haya finalizado la sesión de prácticas?
- ¿El alumno limpia de forma adecuada el puesto de trabajo una vez haya finalizado la sesión de prácticas?
- ¿El alumno muestra seguridad a la hora de llevar a cabo las diferentes tareas de la sesión de prácticas?
- ¿El alumno planifica el tiempo de las diferentes tareas de la sesión de prácticas de forma adecuada?

Pero, además, es necesario que el alumno domine la materia para poder realizar las habilidades necesarias para trabajar en un laboratorio químico. Por ejemplo, debe saber los diferentes tipos de material de vidrio que dispone y usar el más adecuado según la cantidad de reactivo y la exactitud en que se tiene que medir. Así, para llevar a cabo una recristalización en la que necesitan 50 mL de etanol, un alumno debe saber que se deben medir en una probeta y no con un vaso de precipitados o con un matraz aforado (Fig. 3). Otro aspecto importante que han de tener en cuenta los alumnos es realizar la práctica siguiendo todas las medidas de seguridad y realizar la gestión de los residuos que se generan en los experimentos. Los alumnos se deben depositar los residuos generados en la sesión práctica en los envases correspondientes para poder realizar posteriormente una correcta gestión. Esta parte de la práctica es muy importante porque nos permite introducir los Objetivos de Desarrollo Sostenible y también ayudar a que el alumnado adquiera competencias en gestión de residuos además de formar a profesionales respetuosos con el medio ambiente.

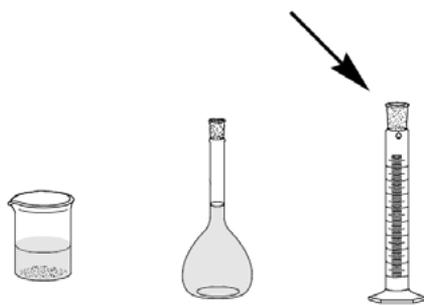


Fig. 3. Material de laboratorio: vaso de precipitados (izquierda), matraz aforado (centro), probeta (derecha).

Resultados

Para evaluar a nivel global el impacto de la mejora sobre la calidad del proceso enseñanza/aprendizaje en la asignatura “Fundamentos Químicos para Ingeniería I”, hemos analizado de forma cuantitativa la calificación promedio de los informes (informes realizados por parejas) de laboratorio de los 75 alumnos que han cursado la asignatura en tres grupos de laboratorio de 25 alumnos cada uno (Fig. 4), y además, hemos analizado el contenido de los informes y las impresiones generales de los alumnos durante las sesiones de prácticas. La evaluación de todas las prácticas se ha realizado siguiendo el mismo procedimiento y rubrica, de forma que las notas son comparables. Las prácticas P1, P2, P3, y P6 corresponden a prácticas tradicionales de conceptos químicos estándar, y las prácticas P4 y P5 corresponden a las prácticas desarrolladas en este proyecto (P4: Síntesis de un MOF y su aplicación en la eliminación de un colorante orgánico del agua y P5: Síntesis nanopartículas de oro).

Como se puede observar en la Fig. 4, la nota promedio de las nuevas prácticas P4 y P5 es claramente superior a la de las prácticas tradicionales P1, P2, P3, y P6, demostrando el impacto positivo sobre la mejora de la calidad del proceso enseñanza/aprendizaje.

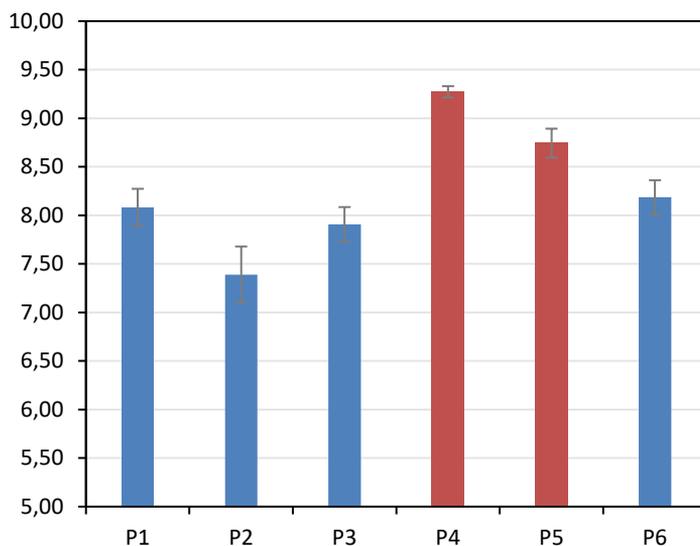


Fig. 4. Resultados promedio de las calificaciones de los informes de laboratorio con el error estándar (75 estudiantes). Las prácticas P1, P2, P3, y P6 corresponden a prácticas tradicionales de conceptos químicos estándar (barras de color azul), y las prácticas P4 y P5 corresponden a las prácticas desarrolladas en este proyecto (barras de color rojo).

Además de los resultados cuantitativos en el rendimiento académico de las nuevas prácticas de laboratorio desarrolladas, el análisis de los informes nos permitió observar una mayor comprensión de los conceptos químicos involucrados en el desarrollo de cada una de las prácticas innovadoras. En este sentido, los alumnos mostraron de un buen aprendizaje de los conceptos de ajuste de estequiometría de las reacciones, cálculos estequiométricos, cálculo de rendimientos, uso de la ley de Lamber-Beer, etc. Además, para completar los informes era necesario incluir fotos de los diferentes pasos sintéticos que se iban realizando, donde se producían cambios de colores y de aspecto de los materiales, permitiendo la evaluación del aprendizaje por habilidades a través del informe de forma complementaria a la evaluación del aprendizaje por habilidades que realiza el profesor mediante observación durante el transcurso de la sesión práctica. Por ejemplo, una foto del filtrado nos permite evaluar si la síntesis del nanomaterial se ha realizado correctamente si no hay ninguna turbidez, en cambio, si hay turbidez podemos evaluar que la síntesis del material no ha sido correcta. Este aspecto es muy novedoso y atractivo con respecto a las prácticas e informes tradicionales donde no se pueden usar fotos para evaluar el trabajo, ya que no se producen cambios significativos de color en los diferentes procesos químicos que el alumno desarrolla (Fig. 5). En este sentido, los cambios de color que tienen lugar en las prácticas innovadoras son tan llamativos que varios alumnos nos pidieron permiso para grabar videos de los procesos y transformaciones que tuvieron lugar durante del desarrollo de la práctica. Además, recibimos comentarios muy positivos del alumnado, indicando que estas dos prácticas fueron las que más les gustaron.

Las mejoras conseguidas con este proyecto se resumen en los siguientes puntos:

- Se han preparado dos nuevas prácticas de laboratorio donde el alumnado ha asimilado los conceptos de ciencia de los materiales. Es decir, los alumnos han aplicado los conocimientos teóricos de la asignatura y se ha conseguido que tengan una visión más clara para plantear y resolver, de forma correcta y eficiente, los conceptos teóricos en una situación práctica en el laboratorio.

- En general, los alumnos se han mostrado satisfechos con las nuevas prácticas, y por tanto se ha conseguido una mejora de la calidad educativa de la asignatura “Fundamentos Químicos para Ingeniería I”, que lleva también a la mejora de la calidad educativa de la titulación y, por tanto, de los resultados académicos de ésta.

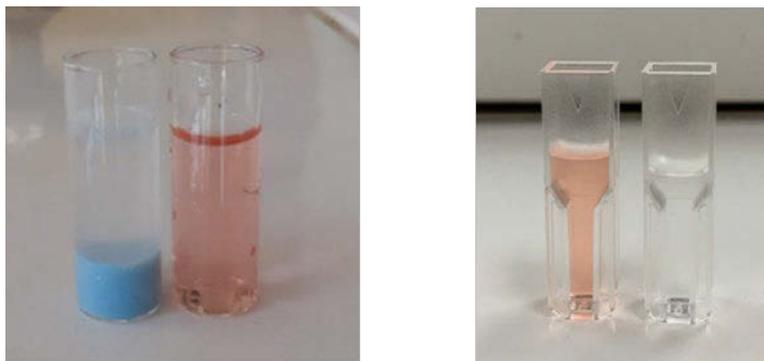


Fig. 5. Ejemplo de fotografías que los alumnos deben incluir en el informe de la práctica de síntesis de un MOF.

Conclusiones

Se han creado dos nuevas prácticas de laboratorio que han permitido a los estudiantes mejorar la asimilación de los conocimientos teóricos de la asignatura sobre ciencia de los materiales. Este proyecto dio apoyo docente al profesorado de la asignatura para introducir cambios en la metodología de la asignatura, permitiendo abordar prácticas de síntesis de materiales, poco habituales en asignaturas de primer curso. En este sentido, la educación universitaria de la química hace uso de las prácticas de laboratorio como un contexto privilegiado de enseñanza (Sánchez, 2017). La importancia de las prácticas se pone de manifiesto en la bibliografía, donde se han reportado experiencias de laboratorio puesto que permiten a los estudiantes aplicar y conectar diferentes conceptos químicos del área de química de materiales además de usar diversas técnicas de laboratorio e instrumentación (Todd, 2022), y el uso de nanopartículas como sensores (Revignas, 2022). Por tanto, la idea desarrollada en este proyecto para que el alumnado pueda preparar **materiales porosos tipo MOF y nanoparticulados** basados en los diferentes conceptos del temario de la asignatura, se ha cumplido con éxito y como resultado se han podido elaborar dos prácticas de laboratorio innovadoras adecuadas a las habilidades y los conocimientos que se les exige a los estudiantes. El desarrollo de nuevas prácticas es esencial para transmitir a los alumnos los nuevos conocimientos de vanguardia del campo de la química como son los materiales MOF y nanopartículas, ya que en ciencia el único medio de aprender es mediante una combinación de tareas prácticas de laboratorio en combinación con metodologías de aprendizaje en el aula (Hodson, 1994).

Los resultados positivos obtenidos en la evaluación de los estudiantes avalan el cumplimiento de los objetivos de este proyecto y, por tanto, el impacto obtenido ha sido positivo. Estos resultados son consecuencia del uso de las prácticas de laboratorio innovadoras como una estrategia didáctica para promover la construcción de conocimiento científico aumentando la motivación e interés de los estudiantes (Espinosa-Ríos, 2016). Además, el uso de fotografías de los diferentes pasos experimentales ha permitido evaluar de forma satisfactoria el correcto desarrollo de las tareas experimentales, poniendo en valor la utilidad de esta nueva forma de evaluar las tareas de laboratorio. En general, los alumnos se mostraron

satisfechos con las nuevas prácticas y se ha conseguido una mejora de la calidad educativa de la asignatura, “Fundamentos Químicos para Ingeniería I”.

La buena aceptación de las nuevas prácticas nos anima a continuar el desarrollo de proyectos de mejora educativa para esta asignatura y tenemos planeado para el próximo curso continuar con el desarrollo de nuevas mejoras, siempre contando con la opinión de los alumnos para poder evaluar el impacto de la mejora educativa propuesta. En este sentido, tenemos planeado cambiar de forma gradual las prácticas tradicionales de la asignatura “Fundamentos Químicos para Ingeniería I” por nuevas prácticas innovadoras en los próximos cursos.

Referencias

TODD, C.; MELCHOR CEBALLOS, C.; & MONICA C. SO, M. (2022). “Synthesis, characterization, and evaluation of metal–organic frameworks for water decontamination: an integrated experiment” en *Journal of chemical education*, ASAP, DOI: 10.1021/acs.jchemed.2c00115

ESPINOSA-RÍOS, E. A.; GONZÁLEZ-LÓPEZ, K. D.; & LIZETH TATIANA HERNÁNDEZ-RAMÍREZ, L. A. (2016). “Las prácticas de laboratorio: una estrategia didáctica en la construcción de conocimiento científico escolar” en *Entramado Universidad Libre*, 12 (1), 266-281.

HODSON, D. (1994) “Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio” en *Enseñanza de las ciencias*, 12 (3), 299- 313.

INDA CARO, M.; ÁLVAREZ GONZÁLEZ, S. & ÁLVAREZ RUBIO, R. (2008) “MÉTODOS DE EVALUACIÓN EN LA ENSEÑANZA SUPERIOR” en *Revista de Investigación Educativa*, 26 (2), 539–552.

JAMES, N. M. & LADUE, N. D. (2021). “Pedagogical Reform in an Introductory Chemistry Course and the Importance of Curricular Alignment” en *Journal of chemical education*, 98 (11), 3421–3430. DOI:10.1021/acs.jchemed.1c00688

MURILLO TORRECILLA, F. J. (2003) “El Movimiento teórico-práctico de mejora de la escuela. Algunas lecciones aprendidas para transformar los centros docentes” en *REICE – Revista Electrónica Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio Educativo*, 1.2, 1-22. ISSN: 1696–4713

PUJOLÀS, P; LUNA, M.; LAGO, J. R.; GRANIZO, L.; BARRIOS, Á.; HUGUET, T.; ANDRÉS, S. (2011) “Orientación educativa. Procesos de innovación y mejora de la enseñanza” Editado por ©Secretaría General Técnica. Catálogo de publicaciones del Ministerio: educación.es. Catálogo general de publicaciones oficiales; publicacionesoficiales.boe.es. ©Editorial GRAÓ, de IRIF, S.L. Ministerio de Educación, Secretaría General Técnica.

REVIGNAS, D.; & AMENDOLA, V. (2022). “Artificial Neural Networks Applied to Colorimetric Nanosensors: An Undergraduate Experience Tailorable from Gold Nanoparticles Synthesis to Optical Spectroscopy and Machine Learning” en *Journal of Chemical Education*, 99 (5), 2112-2120. DOI: 10.1021/acs.jchemed.1c01288

SÁNCHEZ, G. H.; ODETT. H. S.; & LORENZO, M. G. (2017) “La práctica docente en el laboratorio universitario y el conocimiento didáctico del contenido de química inorgánica” en *Enseñanza de las ciencias*, n.º extraordinario: 183-189.

SPENCER, J. N. (1999). “New Directions in Teaching Chemistry: A Philosophical and Pedagogical Basis” in *Journal of chemical education*, 76 (4), 566. DOI:10.1021/ed076p566