



Película polimérica aplicada en un miniproyecto didáctico de sostenibilidad

Polymeric Film Applied in a Sustainability Teaching Mini-Project

Camila Pereira Grandini, Cristiane Renata Schmitt
Escola de Química e Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Campus Santo Antônio da Patrulha – RS, Brasil.
camilagrandini@hotmail.com, cristianerschmitt@gmail.com

Aline Joana Rolina Wohlmuth Alves dos Santos
Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas – UFPel, Campus Universitário Capão do Leão – RS, Brasil.
alinejoana@gmail.com

Patrícia Ignácio
Instituto de Educação Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Campus Santo Antônio da Patrulha. – RS, Brasil.
patricia.ignacio@furg.br

Gilber Ricardo Rosa
Escola de Química e Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Campus Santo Antônio da Patrulha. – RS, Brasil.
gilberrosa@furg.br

RESUMEN • Este documento describe un miniproyecto de cinco semanas para la enseñanza de la química y la sostenibilidad. Las actividades incluyen la producción de películas poliméricas sostenibles a partir de quitosano y celulosa y su aplicación en la adsorción de colorantes alimentarios. Se cubren las habilidades y conceptos normalmente presentes en los cursos prácticos de química: uso de balanzas, cristalería volumétrica, técnicas de dilución, técnica de espectrofotometría UV-Vis y cálculos estequiométricos. Además, se presentan a los estudiantes los pasos habituales de investigación y desarrollo de nuevos materiales utilizados en los procesos de adsorción.

PALABRAS CLAVE: Película polimérica; Quitosano; Celulosa; Colorante alimentario; Adsorción.

ABSTRACT • This document describes a five-week mini-project for teaching chemistry and sustainability. Activities include the production of sustainable polymeric films from chitosan and cellulose and their application in the adsorption of food dyes. The skills and concepts normally present in practical chemistry courses are covered: use of balances, volumetric glassware, dilution techniques, UV-Vis spectrophotometry technique and stoichiometric calculations. In addition, students are introduced to the usual research and development steps for new materials used in adsorption processes.

KEYWORDS: Polymer film; Chitosan; Cellulose; Food dye; Adsorption.

Recepción: marzo 2023 • Aceptación: julio 2023 • Publicación: marzo 2024

Pereira Grandini, C., Schmitt, C. R., Alves dos Santos, A. J. R. W., Ignácio, P. y Rosa, G. R. (2024). Película polimérica aplicada en un miniproyecto didáctico de sostenibilidad. *Enseñanza de las Ciencias*, 42(1), 175-193.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5904>

CONSIDERACIONES INICIALES

La presente investigación se une a las discusiones de la pedagogía de proyectos, una metodología de enseñanza que tiene como objetivo enseñar a través de la experiencia. A partir de trabajos producidos por John Dewey, Ovide Decroly, Maria Montessori, Josette Jolibert, Fernando Hernández, entre otros investigadores enfocados en el estudio de las pedagogías activas, se busca promover acciones de intervención, exploración y comprensión de la realidad (Barbosa y Horn, 2008). Sus premisas se basan en: sentido e intencionalidad; problematizaciones y conexiones; acciones que involucran la razón, la emoción y la sensibilidad; articulación de las experiencias vividas con experiencias previas; resolución de problemas; investigación científica; integración curricular de las diferentes áreas del conocimiento; seguimiento del aprendizaje; eficacia social.

Según Bender (2014, p. 15), el aprendizaje basado en proyectos (ABP) puede caracterizarse «por el uso de proyectos auténticos y realistas, basados en una pregunta, tarea o problema altamente motivador y atractivo, para enseñar contenido académico a estudiantes en el contexto del trabajo cooperativo de resolución de problemas». Para Pasqualetto et al. (2017), además del trabajo cooperativo, el ABP desarrolla la habilidad de resolver problemas abiertos, que no tienen respuestas singulares y se dan a través de la interdisciplinariedad y la interacción entre disciplinas y contenidos.

Cabe señalar que, en esta metodología, se fomenta la participación activa de los estudiantes y se moviliza a los docentes para que actúen como guías y mediadores de los procesos de enseñanza y aprendizaje, que se dan a partir de la actividad intencional, planificada colectivamente. En este contexto, se producen proyectos para que los estudiantes «aprendan a estudiar, investigar, buscar información, ejercer la crítica, dudar, argumentar, opinar, pensar, gestionar aprendizajes, reflexionar colectivamente» (Barbosa y Horn, 2008, p. 34) y donde los errores se entienden «como el punto de partida de una nueva reflexión» (Lerner, 2002, p. 112).

A raíz de estos entendimientos, el estudio desarrollado aquí se llevó a cabo a través de un miniproyecto, que buscó experimentar la propuesta de ABP bajo el tema de medio ambiente y sostenibilidad, especialmente en lo que se refiere a la enseñanza de la química abordando el uso de películas de origen sustentable y con aplicación en la remoción de colorantes alimentarios del medio acuoso, en clases de Curso Técnico en Química de los niveles medio y superior. Al respecto, Rodríguez-Sandoval y Cortés-Rodríguez (2010) señalan que la función primordial de las instituciones de educación superior, particularmente en las áreas de ciencias e ingenierías, es la formación de profesionales que actúen bajo las premisas del espíritu y el método científico y los valores de convivencia, movilizados por la capacidad de aprender continuamente, competencias imprescindibles en las sociedades contemporáneas.

La elección de esta línea de investigación se justifica porque el público objetivo está formado predominantemente por estudiantes que trabajan o realizan prácticas en industrias de la región en los sectores de alimentación y calzado. Así, el miniproyecto didáctico buscaba acercar el aula a la realidad de los alumnos. Además, el ABP promueve el trabajo en equipo, fomenta la criticidad, la creatividad y la autonomía a partir del trabajo colaborativo, de modo que brinda oportunidades para la resolución de problemas relacionados con la vida cotidiana de los estudiantes, para que se apropien del objeto de estudio y apliquen los conocimientos producidos (Bacich y Moran, 2018).

El campo de investigación que aborda el desarrollo y la aplicación de películas poliméricas delgadas de origen sostenible es sumamente amplio (Knoll y Advincula, 2011). En química, existen referencias a películas destinadas a la catálisis (Faria et al., 2014; Grandini et al., 2023; Oliveira et al., 2014), la adsorción (Dotto et al., 2013), la purificación de agua (Jackson et al., 2021), el desarrollo de celdas solares (Kamel et al., 2022), la protección UV de piezas fabricadas mediante impresión 3D (Zheng et al., 2022), el envasado y conservación de alimentos (Silva et al., 2022) y la inhibición de la corrosión de metales (Güven y Ozkazanc, 2022), entre muchas otras aplicaciones. La importancia de este tema

es incuestionable; sin embargo, se ha abordado poco en el contexto académico de los estudiantes brasileños de química y áreas afines y, menos aún, cuando se trata de su articulación con la pedagogía de proyectos.

En un país con una vasta producción agrícola y, por lo tanto, una gran generación de residuos de biomasa, se deben impulsar estrategias de valorización de residuos (Rosa et al., 2019) y de divulgación del conocimiento en la formación académica (Fonseca et al., 2020) basadas en experiencias, intervenciones, vivencias y comprensiones de la realidad. Además de la necesidad constante por parte del sector productivo de reducir la producción de residuos y el costo de los procesos de fabricación, es necesario llenar los vacíos (es decir, resolver la discrepancia entre lo que se enseña en la escuela y lo que sucede y es necesario saber en la industria) en la formación de los estudiantes de química a nivel técnico en términos de preparación real para el trabajo en el sector industrial.

En este sentido, nuestro grupo de investigación se ha propuesto el desarrollo de actividades didácticas experimentales, en forma de miniproyectos inspirados en la pedagogía de proyectos y las teorías del ABP, que abordan la química general (Peixoto et al., 2012), orgánica (Dalmás et al., 2013; Oliveira et al., 2015) y físico-química (Fonseca et al., 2020; Rosa et al., 2018; Schmitt et al., 2018; Vargas et al., 2016). Dichas propuestas metodológicas culminan en un mayor compromiso de los estudiantes en los procesos de enseñanza y aprendizaje, en promover la correlación de la materia trabajada con otros componentes curriculares afines, los contextos sociales de los estudiantes (dos Santos y de Menezes, 2020; Quive et al., 2021) y las necesidades emergentes de la sociedad.

Así, con el objetivo de alinear la formación de profesionales que trabajan directamente con conocimientos que involucran el campo de la química con las tendencias pedagógicas contemporáneas y los desafíos del mercado laboral, se concibió un miniproyecto para la enseñanza de la química. Para ello, se enumeraron los polímeros de quitosano y celulosa. El quitosano es un polisacárido derivado de la desacetilación de la quitina, que a su vez es sumamente abundante, ya que forma exoesqueletos, por ejemplo, de crustáceos marinos (Kumari y Kishor, 2020). Así, la investigación de nuevos usos del quitosano corrobora la necesidad de la industria pesquera en la valoración de los residuos generados. Asimismo, la celulosa es un polisacárido extremadamente abundante, presente en las plantas, y se destaca por su bajo costo y amplia gama de aplicaciones (Heinze, 2016).

El uso de películas de quitosano y celulosa en procesos de adsorción de colorantes es una aplicación interesante y un buen objeto de estudio, debido a que los procesos de adsorción están muy extendidos en la industria química como operación unitaria (Gauto y Rosa, 2011), siendo didácticamente factibles por su facilidad de ejecución y bajo costo (Fonseca et al., 2020). En este estudio, los colorantes azul brillante y amarillo tartrazina se incluyeron debido a su amplio uso en la industria alimentaria (Hamidi et al., 2021).

Así, este artículo describe un miniproyecto para la enseñanza de la química que alinea la sostenibilidad, la valorización de la biomasa, la calificación y la formación profesional de los estudiantes con el tema transversal del medio ambiente, incluido en los parámetros curriculares brasileños, bajo los supuestos de la pedagogía de proyectos (Brasil, 1998). Las acciones fueron planificadas para estudiantes de cursos de química de nivel medio (técnico) y superior (Licenciatura en Química, Química Industrial, Licenciatura en Química e Ingeniería Química), con una duración de cinco semanas.

Por ello, el objetivo de este informe es presentar esta experiencia exitosa que utiliza el ABP para la docencia investigativa de nuevos materiales adsorbentes a partir de biomasa, desarrollada en medio de la pandemia del COVID-19.

En las siguientes secciones se presentará una breve revisión del ABP, la metodología de investigación, así como la discusión de los resultados y las consideraciones finales del estudio.

APRENDIZAJE BASADO EN PROYECTOS

Los educadores de la escuela nueva, a partir del siglo XIX, llevaron al campo de la educación un fructífero debate sobre la educación centrada en el alumno y los métodos y estrategias que favorecerían los procesos activos de aprendizaje. Tomando la experiencia como eje central, la educación y el aprendizaje centrados en el estudiante, según Dewey (1959, p. 83), implican «la reconstrucción o reorganización de la experiencia que aumenta el significado de la experiencia y que aumenta la capacidad de dirigir el curso de la experiencia posterior». A partir de esta propuesta, se desarrollaron metodologías orientadas al aprendizaje por descubrimiento, a través de prácticas basadas en la investigación, articuladas al contexto de los estudiantes y sus necesidades.

Dotados de metodologías activas, se basan en el protagonismo, la cooperación y la acción-reflexión del estudiante (Filatro y Cavalcanti, 2018), además de involucrarse en la construcción del conocimiento a través de la interacción con la realidad. Con el objetivo de romper con las estrategias tradicionales de enseñanza, tales metodologías –entre las que mencionamos el aprendizaje basado en problemas, el aprendizaje cooperativo y el ABP–, permiten «un aprendizaje por descubrimiento vinculado directamente a las necesidades funcionales y vitales del estudiante» y «respetar la diversidad en cuanto a ritmos y tipos de aprendizaje» (Rodríguez y Vílchez, 2015, p. 221).

En términos generales, el ABP constituye una perspectiva de enseñanza y aprendizaje que involucra a los estudiantes en procesos investigativos. Con base en este supuesto, los estudiantes se movilizan para buscar soluciones a problemas, refinar preguntas, debatir ideas, plantear hipótesis, planificar acciones, vivenciar situaciones, recolectar y analizar datos, sistematizar y dar a conocer conclusiones y resultados, mejorar productos y procesos (Blumenfeld et al., 1991). Por tanto, colabora eficazmente en el desarrollo de habilidades en la resolución de problemas de la vida real (Willard y Duffrin, 2003).

Para la organización del trabajo pedagógico basado en el ABP, es necesario plantear un problema o una pregunta no restringida que sirva como lema investigativo, articulado a un escenario del mundo real. Lo que, en cierta medida, posibilita la asociación entre diferentes disciplinas y colabora para ampliar la cosmovisión de los estudiantes. En un proceso activo-investigativo, el hacer y el aprender son inseparables.

En el ABP, el aprendizaje se considera proposicional y autónomo, ya que los estudiantes aprenden en la medida en que buscan soluciones a los problemas formulados. Basado en el trabajo en equipo, propicia un tipo de aprendizaje que promueve la crítica, la colaboración y la búsqueda de respuestas activas (Martínez y García, 2018). En este proceso investigativo, los estudiantes juegan un papel activo y son vistos como corresponsables de la producción y ejecución de todas las etapas del proyecto. Al final del proceso, presentarán nuevas habilidades, ampliarán su cosmovisión y matizarán su nivel de desarrollo conceptual.

Cabe señalar que este enfoque postula un conjunto de prácticas y saberes docentes en los que el docente actúa como mentor, mediador, colaborador, guía y apoyo.

Eso porque,

En la educación basada en proyectos, los docentes necesitan crear espacios para el aprendizaje dando acceso a la información, soportando la enseñanza por la instrucción, modelamiento y guía a los estudiantes para manejar apropiadamente sus tareas, animar a los estudiantes a utilizar procesos de aprendizaje metacognitivos, respetar los esfuerzos grupales e individuales, verificar el progreso, diagnosticar problemas, dar retroalimentación, y evaluar los resultados generales (Rodríguez-Sandoval y Cortés-Rodríguez, 2010, p. 146).

Desde esta perspectiva, es necesario que los docentes se liberen de las perspectivas y prácticas tradicionales, donde desempeñan el papel de especialistas en contenidos (Marham et al., 2008). A diferencia de las actividades convencionales, los proyectos pretenden fundamentar la docencia en un

tema motor que moviliza el trabajo autónomo, activo, participativo, creativo, colectivo y colaborativo, basado en «los principios de negociación igualitaria, responsabilidad individual, acción cooperativa y toma de decisiones consensuada» (Vergara-Ramírez, 2015, p. 146).

A partir de las premisas del ABP, el miniproyecto surge como una forma de vivenciar esta metodología, articulando los saberes de la química con los contextos de los estudiantes de carreras técnicas y universitarias, como se detalla en los siguientes apartados.

METODOLOGÍA

Se trata de una investigación cualitativa exploratoria (Gil, 2008), cuyo objetivo fue experimentar la propuesta del ABP bajo el tema de medio ambiente y sostenibilidad, especialmente en lo que se refiere a la enseñanza de la química abordando el uso de películas de origen sustentable y con aplicación en la eliminación de colorantes alimentarios del medio acuoso. El público objetivo para la realización de este miniproyecto didáctico fueron adolescentes (16-18 años) de familias de clase media-baja ya involucradas en el sector industrial de alimentos y calzado y que cursaban el tercer año del Bachillerato Técnico en Química en una escuela en la región metropolitana de Porto Alegre (Rio Grande do Sul, Brasil). Cabe señalar que todos los estudiantes aceptaron participar en el estudio y firmaron un formulario de consentimiento libre e informado.

Para ello, se sistematizaron las actividades del miniproyecto en 5 encuentros, distribuidos en 5 semanas. En la primera semana, el foco se centró en la introducción teórica sobre el tema investigado y en invitar a los estudiantes a participar en la actividad didáctica propuesta. La primera clase experimental tuvo lugar en la segunda semana del miniproyecto didáctico, con la producción de la película de quitosano y celulosa (PQC). En la tercera semana, hubo una reunión teórica para discutir los resultados de la caracterización de la PQC producida. En la cuarta semana, los estudiantes regresaron al laboratorio para las pruebas de adsorción de colorantes alimentarios. Finalmente, en la última semana, los resultados encontrados por los estudiantes fueron presentados en forma de seminario.

En la tabla 1 se presentan los objetivos que debían alcanzar los estudiantes con la ejecución del mencionado miniproyecto didáctico.

Tabla 1.
Objetivos para el miniproyecto didáctico

<i>Encuentro</i>	<i>Objeto de conocimiento</i>	<i>Objetivos</i>
1	Polímeros naturales de quitosano y celulosa, colorantes alimentarios, adsorción, espectrofotometría UV-Vis.	Comprender el fenómeno de adsorción de los colorantes alimentarios. Determinar la eficiencia del adsorbente mediante la técnica de espectrofotometría UV-Vis.
2	Preparación de la película de quitosano y celulosa.	Producir la película que servirá como adsorbente para colorantes alimentarios.
3	Caracterización de la película de quitosano y celulosa.	Desentrañar la estructura superficial de la película producida para comprender el mecanismo de adsorción involucrado.
4	Adsorción de colorantes alimentarios en la película de quitosano y celulosa.	Obtener la curva de calibración para la lectura de colorantes alimentarios mediante espectrofotometría UV-Vis. Evaluar la adsorción de colorantes alimentarios por la película de quitosano y celulosa.
5	Presentación de los resultados encontrados en la investigación.	Exponer los datos generados en la adsorción de colorantes alimentarios utilizando la película de quitosano y celulosa, comparándolo con la literatura.

El miniproyecto que sigue fue probado en 2021. 10 estudiantes (5 grupos de trabajo con 2 participantes) de la disciplina de Análisis Instrumental (tercer año, Escuela Secundaria Vocacional) participaron de las actividades propuestas, como se describe a continuación. Sin embargo, la metodología propuesta puede ser aplicable en cursos de pregrado relacionados con el campo de la química. Es importante señalar que la actividad se realizó en medio de la pandemia del COVID-19, lo que implicó la implementación de todos los protocolos de seguridad establecidos por el colegio. Cabe señalar que, aun frente a la adversidad, el compromiso de los estudiantes fue sorprendente, dada su falta de actividades experimentales.

En la ejecución de las clases experimentales (Semanas #2 y #4), para cada grupo de estudiantes se utilizaron: un vaso de precipitados de 100 ml, una barra agitadora magnética (~1,5 cm), una placa de Petri (diámetro ~8 cm), una pipeta graduada de 5 ml, matraces aforados de 50 y 250 ml, pipetas aforadas de 5, 10 y 25 ml, cilindros graduados de vidrio de 25 y 50 ml, una cubeta de vidrio de 1 cm, espátulas y vidrios de reloj. Los reactivos y solventes utilizados fueron quitosano en polvo, celulosa microgranulada, solución de ácido acético 0,1 M, colorante alimentario azul brillante y amarillo tartrazina en polvo, cinta indicadora de pH y agua destilada. En las etapas experimentales realizadas por los alumnos, una balanza analítica, un plato agitador, un termómetro de laboratorio (hasta 100 °C) y un espectrofotómetro específico para rango ultravioleta y visible (UV-Vis) de la marca Dynamica, modelo HALO SB-10. En los análisis de caracterización de las películas realizados por el Centro Analítico de la Universidad Federal de Rio Grande (FURG), se utilizaron técnicas de microscopía electrónica de barrido (SEM) y espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR). Las micrografías de las películas se obtuvieron en un equipo JEOL, modelo JSM 6610, operando a 20 kV y con una magnificación de 200x, y las muestras fueron recubiertas con oro antes de la realización de la prueba de caracterización. La determinación de las bandas en la región infrarroja se realizó en un equipo PerkinElmer Spectrum 100, donde las muestras de película fueron leídas directamente en la sonda de reflectancia total atenuada (ATR), con 45 barridos, en la región de 400 a 4000 cm^{-1} .

Guion de clases prácticas

A continuación, se presentan los guiones de las etapas experimentales del miniproyecto didáctico. Cada grupo de laboratorio (2 alumnos) siguió estrictamente la «receta» para preparar los adsorbentes (películas), adsorbatos (soluciones de colorantes alimentarios) y, propiamente, la prueba de adsorción.

Semana #2: Producción de la película de quitosano y celulosa

1. Preparación de la solución 1: Pesar 0,2 g de quitosano directamente en el vaso de precipitados y agregar 1,7 ml de ácido acético, 0,1 M. Posteriormente, agregar 10 ml de agua destilada y homogeneizar en agitador magnético durante 1 h (60 °C).
2. Preparación de la solución 2: Pesar 0,2 g de celulosa microgranulada directamente en el vaso de precipitados. Agregar 10 ml de agua destilada y mezclar. Mezclar la solución 2 con la solución 1 y verter en una placa de Petri. Esperar 12 h para la formación de la película de quitosano y celulosa (PQC).

Semana #4: Adsorción de colorantes alimentarios en la PQC

1. Preparación de solución madre de colorante: Producir soluciones de ambos colorantes, azul brillante (AB) y amarillo tartrazina (AT), con una concentración de 500 mg/l^{-1} . Para hacerlo, pesar 125 mg de cada tinte directamente en vasos de precipitados separados. Agregar 5 ml de

- ácido acético de 0,1 M y mezclar. Verificar si la solución alcanzó $\text{pH} = 3$. De ser así, transferir a un matraz aforado de 250 ml y completar el volumen con agua destilada. Si el pH es superior a 3, añadir gota a gota una solución de ácido acético de 0,1 M hasta alcanzar el valor adecuado. Almacenar las soluciones madre en la oscuridad.
2. Preparación de la solución de trabajo de colorantes para ensayos de adsorción: Diluir las soluciones madre de colorantes AB y AT a una concentración final de 250 mg/l^{-1} (250 ppm). Para ello, pipetear alícuotas de las soluciones madre con una pipeta volumétrica de 25 ml y transferirlas a diferentes matraces volumétricos de 50 ml. Hinchar y homogeneizar las soluciones.
 3. Preparación de la curva de calibración de colorantes: Diluir las soluciones de trabajo de los colorantes (250 ppm) AB y AT para obtener los puntos de lectura de la curva de calibración. Así, para el colorante AB, preparar diluciones de 5, 10, 20, 30 y 40 ml de la solución de 250 ppm en matraces volumétricos de 50 ml. Usar pipetas volumétricas de 5 y 10 ml para retirar alícuotas de acuerdo con el volumen requerido. Leer también la solución de trabajo (250 ppm) para obtener el último punto de la curva de calibración. Verter cada solución en una cubeta de vidrio de 1 cm y leerla en un espectrofotómetro UV-Vis utilizando una longitud de onda (λ) de 408 nm. Para el colorante AT, proceder de la misma manera que arriba, comenzando con la solución de 250 ppm y buscando producir puntos en la curva de calibración con concentraciones de 25, 50, 100, 150 y 200 ppm. Verter cada solución en una cubeta de vidrio de 1 cm y leerla en un espectrofotómetro UV-Vis usando una longitud de onda (λ) de 425 nm.
 4. Prueba de adsorción de colorantes: Transferir 50 ml de la solución de 250 ppm de cada colorante a diferentes vasos de precipitados de 100 ml. En cada vaso de precipitados, agregar una barra de agitación magnética y un trozo de PQC (1 cm \times 1 cm) preparado en la clase práctica anterior (Semana #2). Agitar el sistema lentamente durante 1 hora a temperatura ambiente. Paralelamente, revolver una pieza idéntica de PQC en agua durante el mismo tiempo para formar la prueba en blanco (PB) del sistema. Verter la solución en una cubeta de vidrio de 1 cm y leerla en un espectrofotómetro UV-Vis utilizando longitudes de onda de 408 nm (para AB) y 425 nm (para AT). Leer el PB para descartar interferencias en la absorbancia causadas por la PQC.

La evaluación del aprendizaje producido por los estudiantes a partir del miniproyecto desarrollado y la estrategia didáctica presentada se realizó a través de las preguntas planteadas por los estudiantes, así como el nivel de los seminarios presentados y los informes entregados al final de la actividad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El tema transversal de medio ambiente y sostenibilidad fue elegido para ser abordado de forma experimental, en relación directa con los productos de la biomasa, como el quitosano y la celulosa (figura 1), seleccionados para la realización de la PQC. Dicha película fue evaluada como adsorbente de contaminantes acuosos, en este caso de colorantes que pueden convertirse en contaminantes cuando están presentes en efluentes industriales, ejemplificados en este trabajo por colorantes alimentarios.

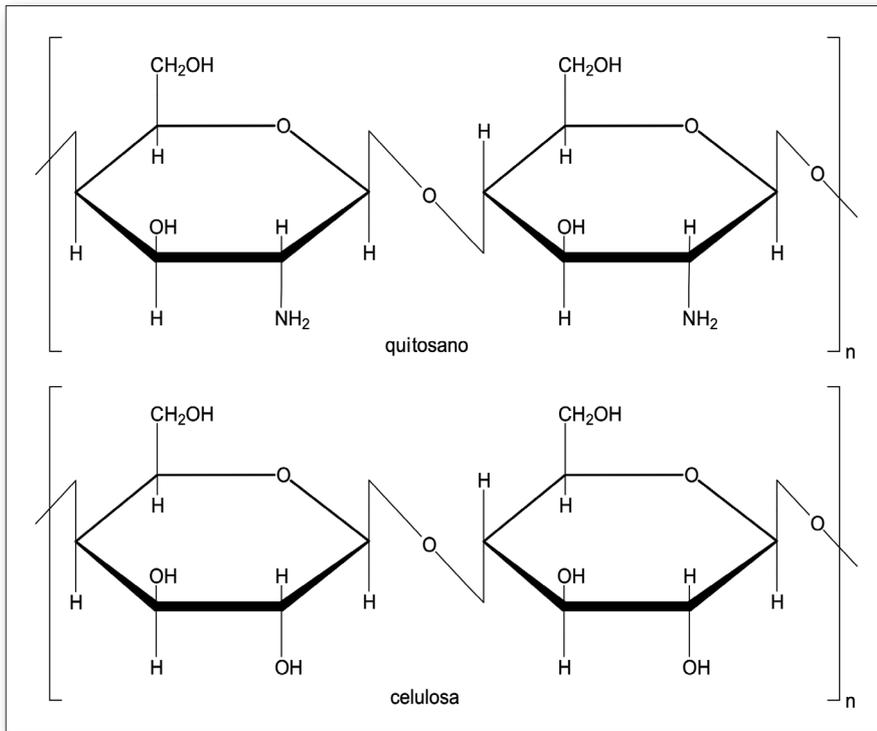


Fig. 1. Estructura química de los polímeros de quitosano (arriba) y celulosa (abajo).

La idea de estudiar y realizar acciones sostenibles y viables en el ámbito escolar fue la base de este miniproyecto, ya sea con la producción de adsorbentes con polímeros de origen natural, o con el uso del producto en el tratamiento de efluentes. La actividad realizada se caracterizó como una acción de investigación y formación de mano de obra técnica, con el fin de llenar un vacío escolar con respecto a la demanda de la industria, que se realizó de acuerdo con los datos contenidos en la tabla 2.

Tabla 2.
Resumen del miniproyecto docente desarrollado

<i>Semana</i>	<i>Tipo de clase</i>	<i>Tiempo (h)</i>	<i>Contenido</i>	<i>Resultados del aprendizaje</i>
1	Teórica	2	Contextualización sobre quitosano, celulosa, fabricación de películas delgadas, colorantes alimentarios, adsorción, principios de espectrofotometría UV-Vis.	Comprensión conceptual a través de la explicación del equipo directivo de los temas tratados en el miniproyecto didáctico.
2	Experimental	4	Elaboración de la PQC. Envío de muestras para caracterización.	Habilidades de manipulación de laboratorio desarrolladas a través de técnicas volumétricas y gravimétricas empleadas en la preparación de soluciones.
3	Teórica	2	Discusión de los resultados de la caracterización de la PQC.	Comprensión conceptual de la superficie de la PQC mediante la interpretación de los datos analíticos encontrados.

<i>Semana</i>	<i>Tipo de clase</i>	<i>Tiempo (h)</i>	<i>Contenido</i>	<i>Resultados del aprendizaje</i>
4	Experimental	4	Elaboración de la curva de calibración de colorantes alimentarios y su adsorción en la PQC.	Habilidades de manipulación de laboratorio desarrolladas a través de las técnicas cuantitativas empleadas en la preparación y lectura de la curva de trabajo, así como en la prueba de adsorción.
5	Teórica	2	Presentación de resultados en forma de seminario y memoria de clase práctica.	Habilidades de razonamiento científico, multiplicación y difusión de los conocimientos adquiridos a partir de las experiencias vividas en la ejecución del miniproyecto didáctico. Formación crítica para la vida académica y profesional incrementada mediante la sensibilización en el tema de la sostenibilidad.

La tabla 2 muestra que los aprendizajes esperados fueron consistentes con la formación de técnicos en química en el nivel secundario y también con otros miniproyectos docentes desarrollados por nuestro grupo de investigación para los niveles de educación secundaria y superior (Dalmás et al., 2013; Fonseca et al., 2020; Oliveira et al., 2015; Peixoto et al., 2012; Rosa et al., 2018; Schmitt et al., 2018; Vargas et al., 2016). Así, en la primera semana del miniproyecto didáctico, se realizó una clase teórica (2 h), contextualizando a los alumnos con la propuesta y los impactos de la actividad industrial en el medio ambiente. Los temas del quitosano, la celulosa, la preparación de películas poliméricas, los colorantes alimentarios y los principios de la espectrofotometría UV-Vis fueron discutidos con la complejidad adecuada al público objetivo y la actividad experimental que se desarrollaría. La evaluación de la comprensión por parte de los alumnos de los contenidos trabajados se basó en las cuestiones planteadas por ellos durante la clase. En esta etapa del miniproyecto didáctico surgieron preguntas como las siguientes: «¿Cualquier polímero puede servir como adsorbente?»; «¿Puede la película del quitosano y celulosa adsorber algún adsorbato?»; «Para que ocurra la adsorción, ¿debe haber una interacción química entre el adsorbente y el adsorbato?»; «Si la solución de colorante es demasiado oscura, ¿puedo leerla directamente en el espectrofotómetro UV-Vis?», entre otras. Para resolver tales dudas, el profesor que realizaba la actividad siempre hacía las aclaraciones necesarias.

En la segunda semana, los alumnos iniciaron la parte experimental del miniproyecto didáctico. La reunión comenzó con una discusión del guion de la clase práctica entregado por el profesor, donde se advierte sobre los cuidados en la obtención de la PQC. Como la preparación de las películas solo se obtiene después de 12 h, los estudiantes acudieron al laboratorio al día siguiente para confirmar la formación de la PQC (figura 2) y recolectar muestras para su caracterización superficial. Dichos análisis fueron enviados por el profesor al Centro de Análisis de la FURG y tuvieron como objetivo evaluar la existencia de grupos funcionales superficiales en el adsorbente, así como la textura superficial de la película. Con esta información, los estudiantes podrían proponer el mecanismo involucrado en el paso de adsorción de los colorantes alimentarios.



Fig. 2. Muestra de PQC realizada por un grupo de alumnos en el mini-proyecto didáctico.

La tercera semana de actividades consistió en discutir los resultados obtenidos en la etapa de caracterización de la PQC. Para ello, se confrontaron los principios de adsorción con la estructura molecular de la película producida. A continuación, se mostró el resultado encontrado por un grupo de estudiantes para la caracterización de la PQC por microscopía electrónica de barrido (SEM, figura 3) y espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR, figura 4).

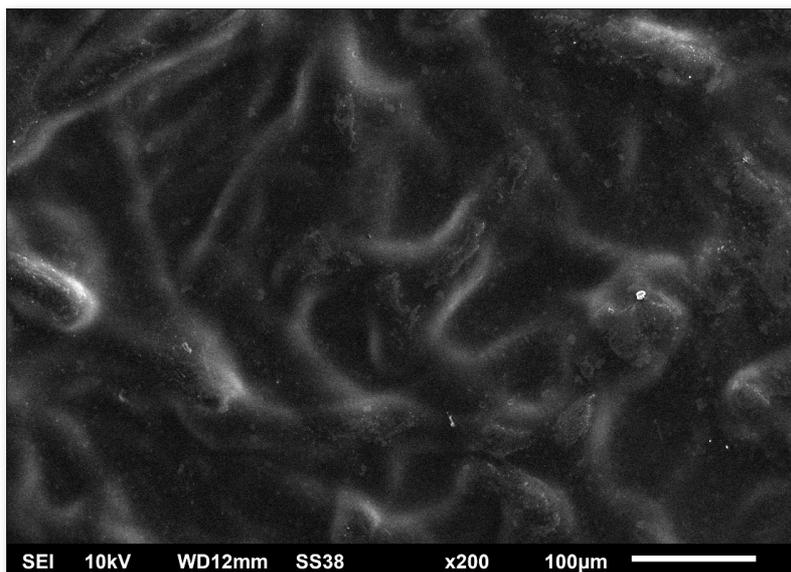


Fig. 3. Micrografía obtenida de una muestra de PQC con un aumento de 200x.

La figura 3 muestra que la superficie de la PQC es irregular, con rebajes capaces de servir como hoyos o «trampas», como lo menciona un grupo de estudiantes, quienes mencionaron que estos «atrapan» los colorantes en la etapa de adsorción. En este punto de la ejecución del miniproyecto didáctico, el docente trajo otros ejemplos de adsorbentes muy conocidos, como el carbón activado (Fonseca et al.,

2020), para que los alumnos confrontaran sus resultados de caracterización superficial, comparando los análisis realizados en diferentes sólidos.

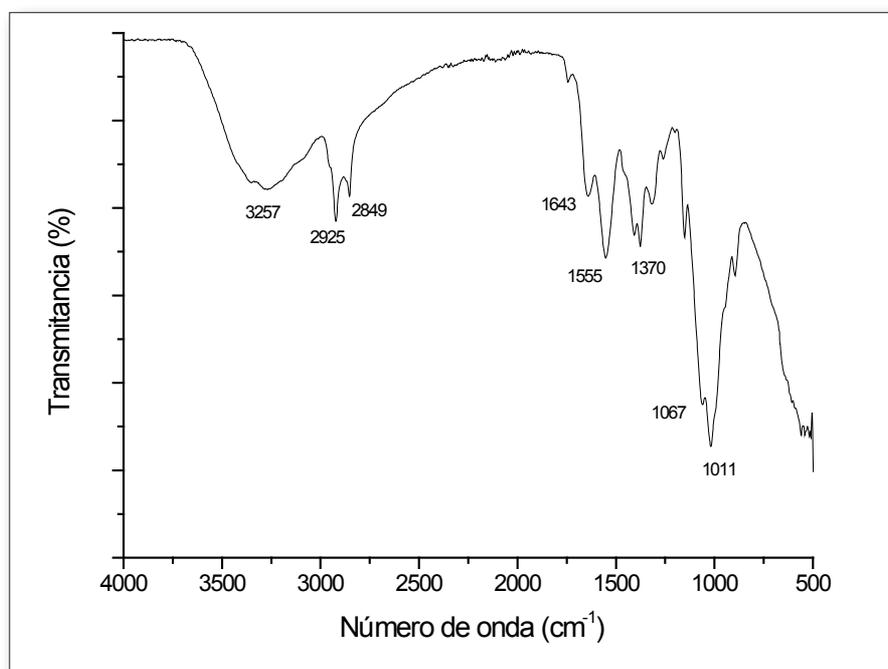


Fig. 4. Espectro FTIR de la PQC.

Las estructuras del quitosano y la celulosa son muy similares, diferenciándose únicamente por la presencia del grupo amino (NH_2) y los restantes grupos acetamida ($-\text{N}(\text{H})\text{C}(\text{O})\text{CH}_3$) en el quitosano derivado de la quitina. En la figura 4 es posible observar bandas características de quitosano (Dotto et al., 2013) y celulosa (Fonseca et al., 2020) existentes en la PQC. La discusión estuvo guiada por la identificación y relación de los grupos funcionales vistos en la figura 1 con las bandas características encontradas en la figura 4. La banda ancha existente en 3257 cm^{-1} está asociada con los grupos O-H y N-H. En el rango de $2925\text{-}2849\text{ cm}^{-1}$ se pueden observar interacciones de elongación del enlace C-H. La señal correspondiente al estiramiento del carbonilo se evidencia a 1643 cm^{-1} . Las bandas ubicadas en 1555 cm^{-1} y 1067 cm^{-1} se pueden asociar con elongación del enlace C-N. Las señales observadas en la región de 1370 cm^{-1} se refieren a CH_2 . Y, finalmente, la banda en la región de 1011 cm^{-1} se puede asociar con la elongación C-O de los enlaces glucosídicos.

Los alumnos participantes quedaron encantados con la información extraída de los ensayos de caracterización de películas poliméricas. La técnica analítica de SEM no se aborda en el Curso Técnico en Química en el que se aplicó el miniproyecto didáctico. La técnica FTIR, por otro lado, se usa solo de manera introductoria en las disciplinas de química orgánica. Así, la etapa de caracterización y discusión de los resultados mediante SEM y FTIR fue como «un verdadero juego de científicos», según el relato de un estudiante participante.

Tras la elucidación de la composición superficial de la PQC, al final de la tercera semana del miniproyecto didáctico, todos los alumnos estaban convencidos de que la porosidad y la existencia de grupos funcionales polares en la película podían producir un potencial adsorbente. Se llegó a esta conclusión luego de comparar los resultados obtenidos en la caracterización de las películas por cada grupo de estudiantes con la literatura científica indicada (Fonseca et al., 2020).

La etapa experimental de adsorción (cuarta semana del miniproyecto didáctico) se inició con la selección de los colorantes alimentarios azul brillante (AB) y amarillo tartrazina (AT) que se muestran en la figura 5.

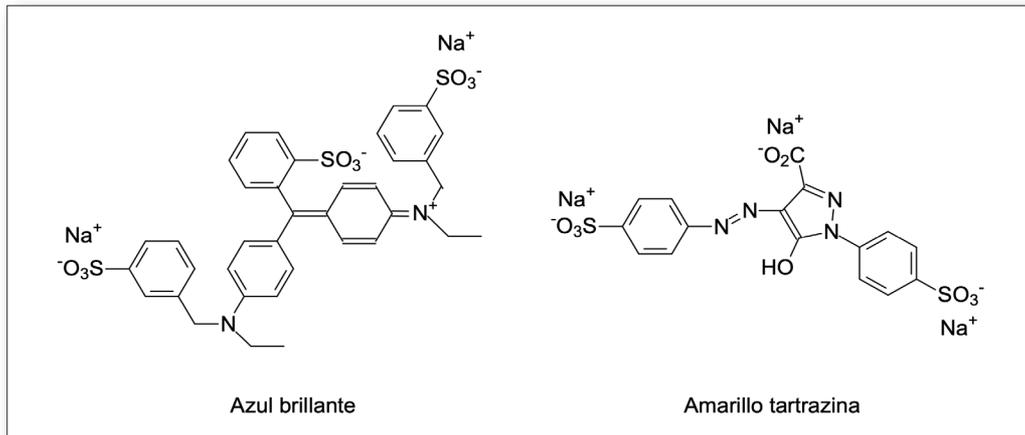


Fig. 5. Estructura molecular de los colorantes alimentarios utilizados en la investigación.

Esta elección de adsorbatos se basó en la asociación que la escuela desarrolla con la industria alimentaria local. De esta forma, los alumnos prepararon las soluciones de colorantes y las curvas de calibración adecuadas para lectura mediante espectrofotómetro UV-Vis, tal como se describe en el guion de las clases prácticas (véase el apartado de «Metodología»). A continuación, se muestran los resultados obtenidos por un grupo de estudiantes en la elaboración de curvas de calibración para ambos colorantes (figuras 6 y 7).

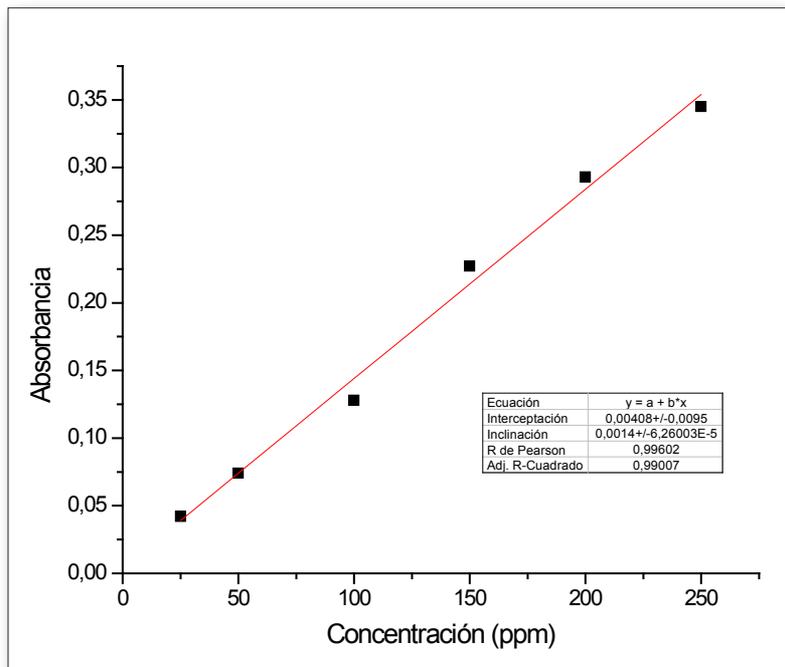


Fig. 6. Curva de calibración del colorante AB.

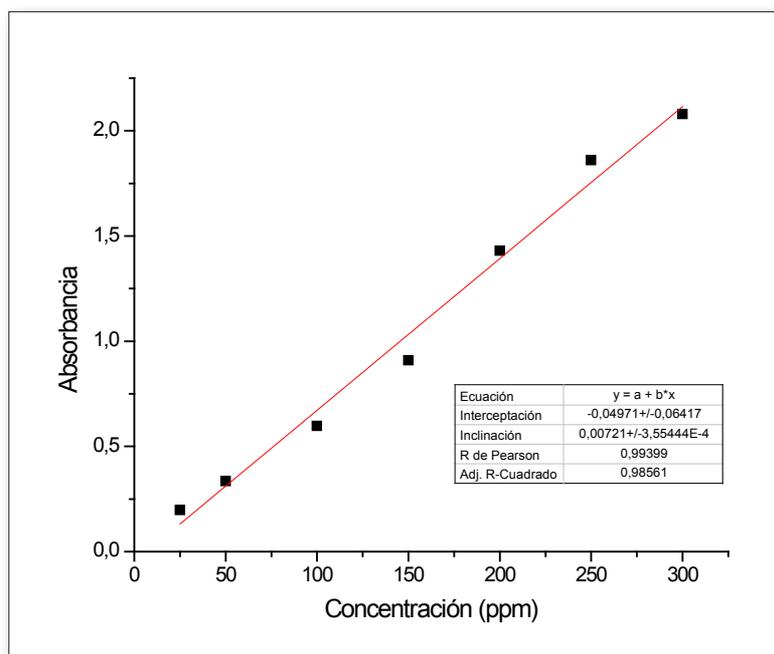


Fig. 7. Curva de calibración del colorante AT.

Con referencia a las figuras 6 y 7, es posible observar que el grupo de estudiantes que proporcionó sus curvas de calibración tuvo una mayor dificultad para producir un buen resultado (R^2 más cercano a 1) para el colorante AT. Esto, en cierto modo, era de esperar, dada la inexperiencia de los estudiantes con la técnica de dilución y el uso de matraces volumétricos. El procedimiento estándar sería rehacer los puntos de lectura fuera de curva que, en el caso de la figura 7, serían el cuarto y penúltimo punto, 150 y 250 ppm, respectivamente. Sin embargo, esto no se hizo debido al factor tiempo. Por lo tanto, solo se comentó a los alumnos que lo ocurrido aumentaría el error experimental del proceso.

Después de esta reunión de laboratorio, los estudiantes cortaron un trozo de PQC (1×1 cm, ~ 80 mg), añadieron las soluciones de colorante medio diluidas y agitaron en una placa magnética (1 h). Posteriormente, los estudiantes retiraron las piezas de PQC y procedieron a leer las soluciones mediante espectrofotometría UV-Vis. Se produjo una prueba en blanco (PB), que constaba únicamente de la PQC con un volumen idéntico de agua destilada, para reducir el error en la lectura de absorbancia. Cada grupo de estudiantes realizó la prueba con los dos colorantes (AB y AT). Se pueden obtener más detalles en el guion de clases prácticas en el apartado de «Metodología».

Al finalizar la actividad de laboratorio, los alumnos mostraron los resultados del proceso de adsorción al docente. La tabla 3 muestra los valores encontrados por el mismo grupo de estudiantes que produjeron las curvas de calibración para los colorantes AB y AT, presentadas anteriormente, utilizando sus respectivas ecuaciones de línea recta.

Tabla 3.

Resultados encontrados en la adsorción de colorantes AB y AT por un grupo de estudiantes*

Colorante	$A_{\text{solución}}$	A_{PB}	Ecuación de línea	C_{residual} (ppm)	% eliminación
AB	0,282	0,011	$A = 0,0014C + 0,00408$	190,64	23,74
AT	0,619	0,011	$A = 0,00721C - 0,04971$	91,35	63,46

*Datos: La temperatura del laboratorio en la ejecución del experimento fue de 25 °C.

La tabla 3 también muestra que la PQC fue menos eficiente en la adsorción del colorante AB. Para concluir, el grupo de trabajo restó el valor de absorbancia de la prueba en blanco (A_{PB}) de la absorbancia de la solución después de la adsorción ($A_{\text{solución}}$), ubicando el resultado como «A» en la ecuación de la línea. Con la resolución de la ecuación de la línea, los estudiantes encontraron el valor de la concentración residual de colorante en la solución (C). Comparando estos datos con el valor de concentración inicial (250 ppm), fue posible determinar el porcentaje de colorante presente en la solución y, por diferencia, la cantidad eliminada (% eliminación). Se realizó el mismo proceso para el colorante AT, lo que resultó en una eliminación del 63,46 % del colorante (unas 2,6 veces mayor que el colorante AB).

Los otros grupos de trabajo encontraron resultados similares en la eliminación de colorantes. Para AB, el porcentaje eliminado de la solución osciló entre 17 y 24 %. En cuanto al colorante AT, el rango encontrado fue de 58-64 %. Tales oscilaciones en los porcentajes de remoción de colorante fueron satisfactorias y, sorprendentemente, bajas, dado el público objetivo y la naturaleza de la actividad, ya que, para estudiantes de secundaria con poca experiencia en manipulación de laboratorio (uso de cristalería, diluciones...), uno esperaría resultados más discrepantes.

Otra forma de expresar la capacidad de adsorción de un material es la relación entre la masa de adsorbato (en miligramos) y la masa de adsorbente (en gramos), determinada en el equilibrio del sistema (Dotto et al., 2013). En este miniproyecto didáctico no se evaluó el tiempo ideal para alcanzar el equilibrio en la etapa de adsorción debido a la priorización didáctica de la actividad y al factor del tiempo disponible. Sin embargo, se determinó la capacidad de adsorción de la PQC para los colorantes alimentarios utilizados, para los que se generaron valores de 37,1 mg g⁻¹ y 99,1 mg g⁻¹ para AB y AT, respectivamente. Comparando estos hallazgos con el trabajo realizado por Dotto et al. (2013) utilizando películas de quitosano en la adsorción de colorantes alimentarios Red Acid 18 y FD&C Blue #2, se observa que los resultados obtenidos en este miniproyecto didáctico son más modestos en términos de experimentación. En la referencia bibliográfica en cuestión, las capacidades máximas de adsorción encontradas para los colorantes mencionados fueron de 194,6 mgg⁻¹ y 154,8 mgg⁻¹, respectivamente. Este dato es importante, pero la comparación con la PQC está comprometida, ya que no se optimizó el tiempo de contacto del adsorbato con el adsorbente y la concentración del colorante en las pruebas de adsorción es al menos 2,5x mayor. Como se ve, la PQC tiene el potencial para estudios adicionales que se llevarán a cabo a su debido tiempo.

Y, finalmente, en la última etapa de la actividad (Semana #5) los estudiantes fueron cuestionados por el docente sobre los hallazgos de su investigación. Para ello, los 5 grupos de trabajo de laboratorio presentaron un breve seminario a la clase (unos 20 min por grupo), ilustrando la PQC producida, las curvas de calibración obtenidas para los colorantes alimentarios, los resultados encontrados y una propuesta de mecanismo de adsorción para el experimento. Al finalizar la reunión teórica, el profesor hizo una valoración general de la implicación de los alumnos y de los resultados encontrados en el miniproyecto didáctico y recogió los informes escritos de cada grupo de trabajo que se habían elaborado en formato de artículo científico. En general, los informes entregados fueron satisfactorios, los estudiantes realizaron una buena descripción de los fenómenos observados, correlacionándolos con la literatura indicada (Fonseca et al.,

2020). La redacción de un informe de clase práctica en formato de artículo científico no era habitual en la Carrera Técnica de Química elegida, por lo que la redacción de hallazgos experimentales, en este nuevo formato, fue otra experiencia de aprendizaje que proporcionó el miniproyecto didáctico.

De todo el miniproyecto didáctico, el informe de actividades fue la etapa que más inquietud generó entre los estudiantes. Y no solo por el carácter valorativo del documento. La dificultad visible de los estudiantes para proponer un mecanismo o una explicación para el paso de la adsorción fue en gran parte responsable del hecho. Esto, en cierto modo, estaba previsto en la concepción de la actividad. Si bien los involucrados reportan dificultad para comprender el mecanismo de adsorción que se mostró en las semanas 1 y 3, el informe de clase práctica abordó el tema con la complejidad y comprensión esperada para el público objetivo en cuestión. Las reuniones extraclase con el profesor (~45 min) ayudaron a aclarar dudas y redactar el informe de clase práctica. Para todos los grupos de trabajo se ofreció ese momento de asistencia y todos los involucrados participaron. En general, los textos correlacionaron los grupos funcionales existentes en la PQC e identificados por FTIR con la polaridad de las moléculas colorantes AB y AT, como ya se describe en la literatura (Dotto et al., 2013).

A modo de elucidación, la propuesta esbozada en este miniproyecto didáctico reportó la introducción del tema de la adsorción en el aula de Curso Técnico en Química a través de un sesgo más sustentable. Tal propuesta también sería perfectamente factible en cursos superiores de química. Cabe señalar que la experiencia de la investigación científica y el desarrollo tecnológico no son comunes al público objetivo que probó el miniproyecto de enseñanza. La mayor preocupación de las escuelas que ofrecen carreras de química a nivel técnico es formar mano de obra de calidad para las industrias que las rodean. En cuanto al producto generado (adsorbente PQC), se puede ver que el tema tiene un gran potencial para ser mejor explorado e incluso puede servir como tema para la realización del trabajo del curso. La adhesión e involucramiento de los estudiantes en la propuesta presentada proporcionó momentos de trabajo colaborativo entre los alumnos, además de su protagonismo y autonomía en la actividad experimental. Esto indicó que las actividades investigativas son bien aceptadas, e incluso pueden causar cierta «rabia» en el aula. Por lo tanto, se cree que este impacto generado por el miniproyecto didáctico servirá de base para futuros trabajos de investigación similares.

CONSIDERACIONES FINALES

En resumen, la propuesta del miniproyecto de enseñanza de la química que aborda el uso de quitosano y película de celulosa en la adsorción de colorantes alimentarios se mostró factible y movilizó el aprendizaje en medio de problematizaciones y conceptualizaciones producidas a partir de las estrategias desarrolladas por los estudiantes bajo la mediación y experimentación del docente que articuló diferentes áreas y experiencias. Utilizando los recursos de un Curso Técnico de Grado Medio en Química en alianza con el Centro Analítico de la FURG, se presentaron a los estudiantes las técnicas comunes de investigación y el desarrollo de nuevos materiales para operar con el conocimiento de forma autónoma y crítica. Además, las materias abordadas dentro de la ejecución del miniproyecto de enseñanza trataron sobre medio ambiente y sostenibilidad, en línea con la competencia enumerada EM13CNT206 para Ciencias Naturales y sus Tecnologías en la Enseñanza Media incluida en la Base Curricular Común Nacional (Brasil, 2018) y con las exigencias del contexto regional. En cuanto a los resultados experimentales, la PQC mostró capacidad de adsorción de colorantes alimentarios con valores de 37,1 mgg^{-1} y 99,1 mgg^{-1} para AB y AT, respectivamente. Dichos resultados aún pueden mejorarse, ya que la condición experimental no fue optimizada debido al corto tiempo de ejecución del miniproyecto didáctico y las limitaciones impuestas por la pandemia del COVID-19. De esta manera, aquí se enlista una perspectiva futura de continuidad de la investigación, considerando la calidad de los resultados en los procesos de enseñanza y aprendizaje de la química.

AGRADECIMIENTOS

C. P. Grandini y C. R. Schmitt agradecen a Coordinación de Perfeccionamiento del Personal de Educación Superior (CAPES, Brasil) por las becas de doctorado recibidas.

REFERENCIAS

- Bacich, L. y Moran, J. (2018). *Metodologías ativas para uma educação inovadora: Uma abordagem teórico-prática*. Penso.
- Barbosa, M. C. S. y Horn, M. G. S. (2008). *Projetos pedagógicos na educação infantil*. Artmed.
- Bender, W. N. (2014). *Aprendizagem Baseada em Projetos: educação diferenciada para o século XXI*. Penso.
- Blumenfeld, P. C., Soloway, E., Marx, R. W., Krajcik, J. S., Guzdial, M. y Palincsar, A. (1991). Motivating project-based learning: Sustaining the doing, supporting the learning. *Educational Psychologist*, 26, 369-398.
- Brasil. Ministério da Educação e Cultura (MEC) (1998). *Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) - Meio ambiente* (página web). <http://portal.mec.gov.br/busca-geral/195-secretarias-112877938/seb-educacao-basica-2007048997/12657-parametros-curriculares-nacionais-5o-a-8o-series>. Visitada el 02-03-2023.
- Brasil. Ministério da Educação e Cultura (MEC) (2018). *Base Nacional Comum Curricular – A etapa do Ensino Médio* (página web). <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/abase/#medio/ciencias-da-natureza-e-suas-tecnologias-no-ensino-medio-competencias-especificas-e-habilidades>. Visitada el 03-03-2023.
- Dalmás, M., de Moura, N. F., Rosa, G. R., Ferreira, C. L., dos Santos, J. A. O., Bolzan, T. K. y Kokubun, F. (2013). Miniprojeto para ensino de química orgânica experimental baseado no acoplamiento catalítico N-C promovido por micro-ondas. *Química Nova*, 36(9), 1464-1467. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422013000900031>.
- Dewey, J. (1959). *Democracia e educação: introdução à filosofia da educação* (3.ª ed., Trad. G. Rangel y A. Teixeira). Nacional.
- Dos Santos, L. R. y de Menezes, J. A. (2020). A experimentação no ensino de química: principais abordagens, problemas e desafios. *Revista Eletrônica PESQUISEDUCA*, 12(26), 180-207.
- Dotto, G. L., Moura, J. M., Cadaval, T. R. S. y Pinto, L. A. A. (2013). Application of chitosan films for the removal of food dyes from aqueous solutions by adsorption. *Chemical Engineering Journal*, 214(1), 8-16. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2012.10.027>.
- Faria, V. W., Oliveira, D. G. M., Kurz, M. H. S., Gonçalves, F. F., Scheeren, C. W. y Rosa, G. R. (2014). Palladium nanoparticles supported in a polymeric membrane: an efficient phosphine-free «green» catalyst for Suzuki–Miyaura reactions in water. *RSC Advances*, 4, 13446-13452. <http://dx.doi.org/10.1039/c4ra01104j>
- Filatro, A. y Cavalcanti, C. C. (2018). *Metodologias inovativas na educação presencial, a distância e corporativa*. Saraiva.
- Fonseca, C. S., Rosa, C. H., Lopes, T. J. y Rosa, G. R. (2020). Sewage sludge in phenol and methylene blue adsorption: a miniproject for teaching sustainability. *Journal of Chemical Education*, 97(4), 1087-1092. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b01118>.
- Gauto, M. A. y Rosa, G. R. (2011). *Processos e Operações Unitárias da Indústria Química* (1.ª ed.). Editora Ciência Moderna.
- Gil, A. C. (2008). *Métodos e técnicas de pesquisa social* (6.ª ed.). Atlas.

- Grandini, C. P., Schmitt, C. R., Duarte, F. A., Rosa, D. S., Rosa, C. H. y Rosa, G. R. (2023). New sustainable and robust catalytic supports for palladium nanoparticles generated from chitosan/cellulose film and corn stem biochar. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 6068-6079. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22616-6>
- Güven, N. C. y Özkazanc, H. (2022). Corrosion protection behavior of poly(N-methylpyrrole)/boron nitride composite film on aluminum-1050. *Progress in Organic Coatings*, 164:106696. <http://dx.doi.org/10.1016/j.porgcoat.2021.106696>
- Hamidi, S., Nemati, M. y Lotfipour, F. (2021). Simultaneous determination of synthetic dyes in gummy candy using novel mesoporous magnetic graphene oxide@zein aerogel followed by a high performance liquid chromatography-diode array detector. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 11(3), e3785. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.3785>
- Heinze, T. (2016). Cellulose: structure and properties. En O. J. Rojas (Ed.), *Cellulose Chemistry and Properties: Fibers, Nanocelluloses and Advanced Materials* (pp. 1-52). Springer International Publishing.
- Jackson, J. C., Camargos, C. H. M., Noronha, V. T., Paula, A. J., Rezende, C. A. y Faria, A. F. (2021). Sustainable cellulose nanocrystals for improved antimicrobial properties of thin film composite membranes. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 9(19), 6534-6540. <http://dx.doi.org/10.1021/acssuschemeng.1c02389>
- Kamel, M. S. A., Oelgemoller, M. y Jacob, M. V. (2022). Sustainable plasma polymer encapsulation materials for organic solar cells. *Journal of Materials Chemistry A*, 10(9), 4683-4694. <http://dx.doi.org/10.1039/d1ta10608b>
- Knoll, W. y Advincula, R. C. (2011). *Functional Polymer Films* (1.ª ed.), Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Kumari, S. y Kishor, R. (2020). Chitin and chitosan: origin, properties, and applications. En S. Gopi, S. Thomas y A. Pius (Eds.), *Handbook of Chitin and Chitosan* (pp. 1-33). Elsevier.
- Lerner, D. (2002). *Ler e escrever na escola: o real, o possível e o necessário*. Artmed.
- Marham, T., Larmer, J. y Ravitz, J. (2008). *Aprendizagem baseada em projetos: guia para professores de ensino fundamental e médio* (Trad. Daniel Bueno). Artmed.
- Martínez, A. C. y García, M. E. C. (2018). Aprendizaje basado en proyectos en educación infantil: cambio pedagógico y social. *Revista Iberoamericana de Educación*, 76, 79-98. <https://doi.org/10.35362/rie7602861>
- Oliveira, D. G. M., Alvarenga, G., Scheeren, C. W. y Rosa, G. R. (2014). Desenvolvimento de reator tipo «dip catalyst» para filmes poliméricos contendo nanopartículas de metais de transição. *Química Nova*, 37(8), 1401-1403. <http://dx.doi.org/10.5935/0100-4042.20140224>
- Oliveira, D. G. M., Rosa, C. H., Vargas, B. P., Rosa, D. S., Silveira, M. V., de Moura, N. F. y Rosa, G. R. (2015). Introducing undergraduates to research using a Suzuki-Miyaura cross-coupling organic chemistry miniproject. *Journal of Chemical Education*, 92(7), 1217-1220. <https://doi.org/10.1021/ed500551d>
- Pascualetto, T. I., Veit, E. A. y Araujo, I. S. (2017). Aprendizagem baseada em projetos no ensino de física: uma revisão de literatura. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 17(2), 551-577. <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2017172551>

- Peixoto, C. R. M., Rosa, G. R., Silva, C. N., Santos, B. T. y Engelmann, T. L. (2012). Mini-proyecto para ensino de química geral experimental baseado na fermentação do caldo de cana-de-açúcar. *Química Nova*, 35(8), 1686-1691.
<https://doi.org/10.1590/S0100-40422012000800032>
- Quive, L. G., Leandro, S., Bandali, E. C., Gueze, G. A., João, D. A., Gomundanhe, A. M., Neuana, N. F. y Macuvele, D. L. P. (2021). Exploring materials locally available to teach chemistry experimentally in developing countries. *Education for Chemical Engineers*, 34, 1-8.
<https://doi.org/10.1016/j.ece.2020.09.004>
- Rodríguez-Sandoval, E. y Cortés-Rodríguez, M. (2010). Evaluación de la estrategia pedagógica «Aprendizaje basado en proyectos»: Percepción de los estudiantes. *Avaliação: Revista da Avaliação da Educação Superior*, 15(1), 143-158.
<https://doi.org/10.1590/S1414-40772010000100008>
- Rodríguez, I. R. y Vílchez, J. G. (2015). El aprendizaje basado en proyectos: un constante desafío. *Innovación Educativa*, 25, 219-234.
<https://doi.org/10.15304/ie.25.2304>
- Rosa, C. H., Antelo, F. y Rosa, G. R. (2018). Kinetics of thermal-degradation of betanins: A teaching mini-project for undergraduates employing the red beet. *Journal of Food Science Education*, 17(4), 104-110.
<https://doi.org/10.1111/1541-4329.12147>
- Rosa, D. S., Vargas, B. P., Silveira, M. V., Rosa, C. H., Martins, M. L. y Rosa, G. R. (2019). On the use of calcined agro-industrial waste as palladium supports in the production of eco-friendly catalysts: rice husks and banana peels tested in the Suzuki-Miyaura reaction. *Waste and Biomass Valorization*, 10, 2285-2296.
<https://doi.org/10.1007/s12649-018-0252-7>
- Schmitt, C. R., Rosa, D. S., Vargas, B. P., Rosa, C. H., Duarte, F. A., Scheeren, C. W., Lopes, T. J., Trombetta, F. y Rosa, G. R. (2018). Coconut agro-industrial waste in the production of catalyst containing palladium: The report of a mini-project for teaching of sustainable Suzuki-Miyaura reaction. *Journal of Cleaner Production*, 185, 342-346.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.082>
- Silva, A. C. Q., Silvestre, A. J. D., Vilela, C. y Freire, C. S. R. (2022). Natural polymers-based materials: a contribution to a greener future. *Molecules*, 27(1):94.
<http://dx.doi.org/10.3390/molecules27010094>
- Vargas, B. P., Rosa, C. H., Rosa, D. S. y Rosa, G. R. (2016). «Green» Suzuki-Miyaura cross-coupling: An exciting mini-project for chemistry undergraduate students. *Educación Química*, 27(2), 139-142.
<https://doi.org/10.1016/j.eq.2015.11.006>
- Vergara-Ramírez, J. J. (2015). *Aprendo porque quiero. El Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), paso a paso*. Editorial SM: Biblioteca Innovación Educativa.
- Willard, K. y Duffrin, M. W. (2003). Utilizing project-based learning and competition to develop student skills and interest in producing quality food items. *Journal of Food Science Education*, 2(4), 69-73.
<https://doi.org/10.1111/j.1541-4329.2003.tb00031.x>
- Zheng, J. Y., Cai, Y. Q., Zhang, X. W., Wan, J. T. y Fan, H. (2022). Eugenol-based siloxane acrylates for ultraviolet-curable coatings and 3D printing. *ACS Applied Polymer Materials*, 4(2), 929-938.
<http://dx.doi.org/10.1021/acsapm.1c01405>

Polymeric Film Applied in a Sustainability Teaching Mini-Project

Camila Pereira Grandini, Cristiane Renata Schmitt
Escola de Química e Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Campus Santo Antônio da Patrulha – RS, Brasil.
camilagrandini@hotmail.com, cristianerschmitt@gmail.com

Aline Joana Rolina Wohlmuth Alves dos Santos
Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas – UFPel, Campus Universitário Capão do Leão – RS, Brasil.
alinejoana@gmail.com

Patrícia Ignácio
Instituto de Educação Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Campus Santo Antônio da Patrulha orre– RS, Brasil.
patricia.ignacio@furg.br

Gilber Ricardo Rosa
Escola de Química e Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Campus Santo Antônio da Patrulha – RS, Brasil.
gilberrosa@furg.br

This paper reports the development and application of a mini-project for teaching chemistry that deals with the theme of sustainability through the valorization of chitosan and cellulose biomass in the production of an adsorbent film. This film was evaluated for the adsorption of tartrazine yellow and brilliant blue food dyes, generating a five-week didactic activity tested in a secondary chemistry technical course. However, the activity is perfectly feasible in higher level courses in the field of chemistry (Bachelor's Degree in Chemistry, Industrial Chemistry, Chemical Engineering...). During the experimental activity, the students had contact with fundamental steps used in the research and development of new materials and cutting-edge surface characterization techniques. Such topics are not usually covered in a high school chemistry course and were very well received by students. With a didactic approach guided by project-based learning and through an exploratory qualitative investigation, students experienced stages present in chemistry investigative processes, fostering ideas of topics that could be addressed in their own course completion works. In terms of the results found in the adsorption tests, the chitosan and cellulose film developed showed an adsorption capacity of food dyes with values of 37.1 mgg^{-1} and 99.1 mgg^{-1} for brilliant blue and tartrazine yellow, respectively. Such results are promising, since the adsorption tests can still be optimized in terms of adsorbent mass, film exposure time and concentration of the adsorbate solution.

