

Promoting scientific culture and sustainable development among secondary students

Fomento de la cultura científica y el desarrollo sostenible entre el alumnado de educación secundaria

M.N. Rivas-Márquez¹, P. Cabrera-Reyes¹, R. Jiménez-Gómez¹, M. C. Recio-Ruiz¹, M. García-Rollán², M. A. Rodríguez-Cano¹, J. Torres-Liñán^{1*}, J. M. Rosas¹

¹Universidad de Málaga, Andalucía Tech., Departamento de Ingeniería Química, Campus de Teatinos s/n, 29010 Málaga, España

²Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid, Campus Cantoblanco, Madrid E-28049, España

*Autor de correspondencia: javiertorres@uma.es

Resumen

El fomento de la cultura científica en la sociedad mediante actividades de divulgación científica es una labor en auge por los beneficios que produce en la sociedad. Es de especial importancia su implementación en los jóvenes, puesto que serán los encargados de realizar los avances tecnológicos del futuro. En este sentido, las metodologías STEAM, como las propuestas por la *Noche Europea de los Investigadores* o el *Proyecto Educativo ScienceIES* parecen ser adecuadas para promover el interés por las carreras científicas. En este trabajo se profundiza en el conocimiento de conceptos relacionados con la biomasa en el camino hacia el desarrollo sostenible y, para ello, se propone una secuencia de actividades teórico-prácticas para que el alumnado entienda los beneficios de esta frente a las materias primas fósiles. La sesión de La Noche en las Aulas se centró en el uso de carbón activo procedente de biomasa con fines ambientales, mientras que en las diferentes sesiones del *Proyecto Educativo ScienceIES* se detallaron las características de la biomasa, los productos y materiales de interés que de ella podían obtenerse y la caracterización de estos. Previa y posteriormente a las sesiones se pasaron unos cuestionarios donde se comprobó como la secuencia de actividades teórico-prácticas propuestas era efectiva para el aprendizaje de los conceptos relacionados con el desarrollo sostenible.

Palabras clave

Desarrollo sostenible; biomasa; educación secundaria; La Noche Europea de los investigadores; Proyecto Educativo ScienceIES

Keywords

Sustainable development; biomass; secondary school; The European Researchers' Night; Educational Project ScienceIES

1. Introducción

El mundo actual está en continua y rápida evolución. La implantación de la sociedad digital, caracterizada por el fácil acceso a la información [1], está poniendo

de manifiesto la necesidad de cultivar en la sociedad una profunda cultura científica que ayude al ciudadano a reconocer la información veraz y con respaldo científico frente a los bulos y pseudociencias [2]. Es en este contexto, donde cobran importancia los proyectos de divulgación científica, capaces de crear vínculos entre la ciencia y la sociedad. Con la divulgación científica, la ciudadanía se hace consciente de la importancia de la ciencia y la tecnología en su día a día, así como en el avance de la sociedad [3]. Es además de especial importancia el acercamiento de esta cultura científica a los más jóvenes, aumentando su entendimiento del mundo e incluso promoviendo vocaciones científicas [4]. Con este fin, surgen iniciativas de divulgación entre el alumnado de educación secundaria como *La Noche en las Aulas* o el *Proyecto Educativo ScienceIES*.

La Noche en las Aulas es una iniciativa en la que los institutos abren sus puertas para que estudiantes y profesores puedan interactuar con científicos de diversas disciplinas, creando un ambiente de aprendizaje mutuo y de inspiración para el alumnado. Esta propuesta se engloba dentro de La Noche Europea de los Investigadores (*European Researchers' Night*), un proyecto europeo de divulgación científica celebrado anualmente de forma simultánea en diversas ciudades y promovido por la Comisión Europea dentro de las acciones Marie Skłodowska-Curie del programa Horizonte Europa [5]. Durante este evento, a través de una gran variedad de actividades, se busca, no solo dar visibilidad al rol del investigador, sino también, a la importancia que tiene la investigación científica para el bienestar de la ciudadanía.

Por otro lado, el *Proyecto Educativo ScienceIES* se realiza en colaboración con la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT) del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades. Con esta iniciativa se pretende fomentar el interés investigador del alumnado y despertar vocaciones científicas desde temprana edad. Este programa invita a estudiantes de los últimos cursos de ESO y Bachillerato de distintos centros educativos a participar en pequeños proyectos de investigación. De esta forma, no solo se enriquece la comprensión teórica, sino que también se fomenta el pensamiento crítico y el interés por la investigación científica [6].

El impacto de estas actividades no solo recae en el aprendizaje académico, sino también en la adquisición y desarrollo de competencias claves, labor ampliamente recomendada por la Unión Europea. Además, ambas iniciativas siguen la metodología STEAM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Artes y Matemáticas, por sus siglas en inglés), centrada en el desarrollo de habilidades interpersonales tales como el pensamiento crítico, el trabajo en equipo y la comunicación, entre otras [7].

La obtención de productos químicos y materiales en el contexto de la economía circular es uno de los ejes prioritarios de acción de la Organización de las Naciones Unidas, como se refleja en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 7: energía asequible y no contaminante y 13: acción por el clima de su Agenda 2030 para el desarrollo sostenible [8]. Dentro de estas acciones se encuentra la búsqueda de alternativas que sustituyan a los recursos fósiles, usando para ello la biomasa, preferiblemente residual. Es en este campo donde se enmarcan las líneas de investigación del grupo TERMA (Tecnología de Residuos y del Medio Ambiente, TEP-184) que, a partir de diversos tipos de residuos lignocelulósicos como la cáscara de almendra, el hueso de aceituna, el tallo de cáñamo o la lignina, estudia la obtención de materiales carbonosos con una amplia variedad de morfologías (polvo, fibras electrohiladas o monolitos). Estos materiales carbonosos, además, presentan una serie de ventajas, tales como una elevada área superficial y una buena estabilidad química y térmica, convirtiéndolos en unos materiales muy versátiles con numerosas aplicaciones [9-12].

Por tanto, con el fin de contribuir a la consecución de los ODS a través del empleo de la biomasa residual, se han diseñado dos actividades enmarcadas dentro del concepto STEAM, capaces de adentrar al alumnado en el mundo de la valorización de biomasa residual, con fines energéticos, medioambientales o catalíticos.

2. Objetivos

El objetivo general de estas iniciativas es dar a conocer entre el alumnado la importancia del uso de la biomasa residual para la obtención de productos de alto valor añadido, en especial el carbón activo, y su implicación en el camino hacia la sostenibilidad global: ODS y economía circular. Esta tarea general se desarrollará a través de los siguientes objetivos específicos:

- Transmitir la importancia de la investigación en temas sobre la sostenibilidad medio ambiental.
- Acercar la experimentación científica al alumnado como método para el avance tecnológico.
- Enseñar al alumnado las diferentes tipologías de biomasa, los tratamientos aplicados y la caracterización de los materiales obtenidos.

3. Metodología

3.1. Actividades propuestas

- *La Noche en las Aulas*

Esta actividad consistía en la realización de una única sesión de actividades teórico-prácticas en el centro educativo donde el alumnado cursa sus estudios con una duración de aproximada de 2 horas y en relación con el trabajo que estos investigadores realizan. En concreto, el personal investigador acudió a dos institutos Malagueños (IES El Palo e IES Isaac Albéniz), realizando dichas sesiones con alumnos de la modalidad de Ciencias y Tecnología de 4º de ESO y de 2º de Bachillerato.

- *Proyecto Educativo ScienceIES*

Esta actividad consistía en la realización de tres sesiones de unas 5 horas de duración en el laboratorio donde el personal investigador del grupo TERMA realiza su trabajo diario. Además, se incluyó una sesión de clausura, también de unas 5 horas, a fin de que todo el alumnado participante en el proyecto compartiese con el resto el aprendizaje obtenido. Las sesiones enmarcadas en el proyecto Impulsando el desarrollo sostenible mediante el uso de la biomasa se repartieron de la siguiente forma:

- Primera sesión: presentación del alumnado y del personal investigador, junto con una introducción práctica a la definición de biomasa y la determinación de sus propiedades más importantes.
- Segunda sesión: explicación teórico-práctica por parte del personal investigador de los procesos termoquímicos a los que puede someterse la biomasa, de los productos derivados de estos tratamientos y de los procesos comunes para obtener materiales de alto valor añadido.
- Tercera sesión: familiarización del alumnado con algunas técnicas de caracterización para el análisis de los productos y materiales obtenidos en la sesión anterior, como el cromatógrafo de gases acoplado a un espectrómetro de masas (GC-MS), el cromatógrafo de líquidos de alta eficacia (HPLC), microscopía electrónica de barrido (SEM) y de transmisión (TEM).
- Jornada de clausura: asistencia al evento de clausura en la Universidad de Málaga, con un formato que simulaba a un congreso científico y con la asistencia de más de 700 estudiantes de educación secundaria de la provincia. En el congreso el alumnado debía realizar una presentación en formato oral apoyándose en un póster preparado por ellos, donde exponían los conocimientos adquiridos en las sesiones anteriores.

3.2. Análisis de resultados

Para la evaluación del grado de aprendizaje del estudiantado participante en sendos proyectos, se llevaron a cabo cuestionarios con preguntas de escala numérica (1-10) tanto al inicio (pre-test) como tras la finalización de la secuencia de actividades (post-test). Este último cuestionario recogía el grado de satisfacción del alumnado respecto a las actividades propuestas en forma de impresiones, opiniones y sugerencias.

4. Desarrollo de las actividades

4.1. Noche en las Aulas

Estas sesiones comenzaron con la realización del test preliminar por parte del alumnado. Seguidamente se llevó a cabo una introducción de los fundamentos teóricos de las distintas rutas de aprovechamiento de la biomasa, así como de los métodos de preparación, propiedades y aplicaciones de los diferentes materiales que de ella derivan. A continuación, el personal investigador procedió a explicar la temática de sus líneas de investigación y la relación de estas con la información previamente expuesta. Durante este primer bloque teórico se formularon preguntas al alumnado con el objetivo de esclarecer, en tiempo real, su grado de conocimiento previo y qué conceptos habían sido capaces de adquirir.

En el segundo bloque, llevado a cabo en los laboratorios de los centros educativos, se realizó una demostración experimental del proceso de adsorción en continuo en una columna rellena de carbón activado (y la posterior regeneración del mismo), Imagen 1. La práctica fue realizada por algunos miembros del alumnado que se ofrecieron a participar en ella. Las sesiones finalizaron con la realización del post-test.



Imagen 1. Fotografías tomadas durante las sesiones de *La Noche en las Aulas*.

4.2. Proyecto Educativo ScienceIES

• Primera sesión

Esta sesión inicial comenzó con una pequeña dinámica de grupo donde el alumnado, además de presentarse con su nombre e instituto de procedencia, debía elaborar una frase con dos palabras, que se le habían asignado al azar, relacionadas con el ámbito de la investigación en desarrollo sostenible. A continuación, el personal investigador introdujo el proyecto focalizándose en una pregunta que debían responder en la sesión de clausura: “¿Cómo contribuye la biomasa a las ODS?”. Así, se presentaron los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), haciendo hincapié sobre todo en la relación de estos con la investigación que se realizaba en los laboratorios. Además, se explicó una de las principales líneas de investigación del personal investigador: uso de biomasa residual para obtener productos de alto valor añadido y materiales (adsorbentes, soportes catalíticos o catalizadores carbonosos porosos). En este contexto también se introdujo el término biorrefinería como posible alternativa a las actuales refinerías tradicionales. Más concretamente se usó la industria papelera como referente para demostrar las posibilidades de la biomasa residual, centrándose en el uso actual de la lignina para su valoración energética y las diferentes alternativas que se proponen.

En una segunda parte de la sesión, se plantearon tres actividades experimentales en torno a la lignina y la industria del papel:

1. Extracción de lignina: se simuló el proceso de separación de la celulosa y lignina presentes en la biomasa. Sin embargo, para hacerlo más simple, rápido y seguro, en lugar de biomasa se empleó una mezcla de celulosa y lignina, simulando una biomasa. De esta forma la extracción se llevó a cabo añadiendo acetona, que disolvió la lignina, pero no la celulosa, pudiéndose separar mediante filtración.
2. Análisis de solubilidades: se seleccionaron tres ligninas diferentes y se les propuso que cuantificaran la solubilidad que estas presentaban en acetona, etanol y agua. Se comprobó que una era soluble solo en disolventes orgánicos, otra solamente en agua y una última lignina era insoluble en ambos disolventes. En base a eso se explicó que las ligninas, dependiendo del proceso de extracción empleado presentan diferentes características que las hacen solubles en diferentes medios.
3. Determinación de lignina en agua: se hizo una valoración con KMnO_4 de dos muestras de agua en ausencia y presencia de 50 ppm de lignina. La mezcla del KMnO_4 con la lignina provocó que toda el agua se oscureciese, mientras que la muestra sin lignina permaneció con un tono rosado por la presencia de KMnO_4 . Esto puso de manifiesto la necesidad de gestionar la

lignina de forma adecuada como subproducto en la industria papelera, puesto que puede ser un importante contaminante con una alta demanda de oxígeno en los medios acuáticos.

Una vez concluidas estas experiencias se hizo un pequeño repaso de todas ellas, contando esta vez con la participación del alumnado.

- Segunda sesión

Para comenzar la sesión, el alumnado recibió una charla introductoria sobre el aprovechamiento de la biomasa donde se expusieron los principales procesos termoquímicos a los que pueden someterse las diferentes éstas: combustión, gasificación y pirólisis; así como el tipo de materiales de interés industrial y compuestos de alto valor añadido, que pueden de cada uno de estos procesos.

Tras la charla introductoria, el grupo se subdividió en dos grupos para realizar dos actividades diferentes:

1. Proceso de pirólisis: se inició llevando a cabo una demostración del proceso de pirólisis rápida de una de las biomásas disponibles en el laboratorio. Durante toda la experiencia, se expuso la problemática principal del proceso en cada una de sus etapas, resaltando los posibles productos que podían extraerse del mismo. A continuación, el alumnado realizó de forma práctica la secuencia de etapas que se requieren para llevar a cabo una pirólisis catalizada con el fin de obtener carbón activado: impregnación de un residuo biomásico con un agente activante, tratamiento a 60 °C, carbonización a temperatura elevada en flujo de nitrógeno y lavado hasta retirar el fósforo no unido químicamente.
2. Proceso de electrohilado: se elaboraron fibras de lignina a través de la técnica del electrohilado. Para ello, uno de los investigadores encargados del proyecto expuso los fundamentos teóricos de la técnica. Tras ello, los alumnos prepararon una disolución polimérica y el investigador seleccionó las condiciones de operación más adecuadas para proceder a su hilado. Se concluyó con la exposición del investigador sobre las operaciones posteriores necesarias para obtener fibras de carbono a partir de la lignina.

- Tercera sesión

La sesión inició con el diseño, entre el personal investigador y el estudiantado, del póster que debían exponer en la jornada de clausura, planteando una estructura clara sobre los objetivos, desarrollo de las sesiones y conclusiones, similar a la empleada en los posters científicos.

En la segunda parte de la sesión, los alumnos se dirigieron a las instalaciones de los "Servicios Centrales de Apoyo a la Investigación (SCAI)" de la Universidad de Málaga. Durante esta etapa,

el personal técnico responsable del servicio de microscopía electrónica (SEM y TEM) se hizo cargo de realizar una breve introducción a sendas técnicas y una demostración de su funcionamiento con las muestras que prepararon en la sesión anterior, y como se puede relacionar su morfología y las estructuras observadas con la tipología de compuesto y su método de síntesis.

Como parte final de la sesión, los alumnos se dirigieron al laboratorio de investigación donde se les mostraron algunos de los equipos de análisis más empleados, como el HPLC o el GC-MS. Se les enseñó como analizar una muestra con ambos equipos y qué datos se obtienen, así como la información tan útil que se puede extraer de ellos.

- Jornada de clausura

Una vez concluidas las tres sesiones, hacia el final del curso escolar, el alumnado asistió a un evento de clausura en un formato similar al de un congreso científico. En esta jornada, los estudiantes realizaron una presentación oral de unos 5 minutos, apoyados en una presentación de diapositivas en la que resumieron las actividades desarrolladas durante las sesiones, detallaron su contribución al proyecto y expusieron sus conclusiones principales. Tras la exposición, tanto personal docente como el resto del estudiantado formuló preguntas y comentó sus principales inquietudes. Por otro lado, el evento también contaba con una sesión de posters, como el mostrado en la imagen 3, donde el alumnado exponía el póster confeccionado y debatía con los alumnos de otros centros sobre los hallazgos que habían obtenido.



Imagen 2. Fotografías tomadas durante las tres primeras sesiones del *Proyecto Educativo ScienceIES*.

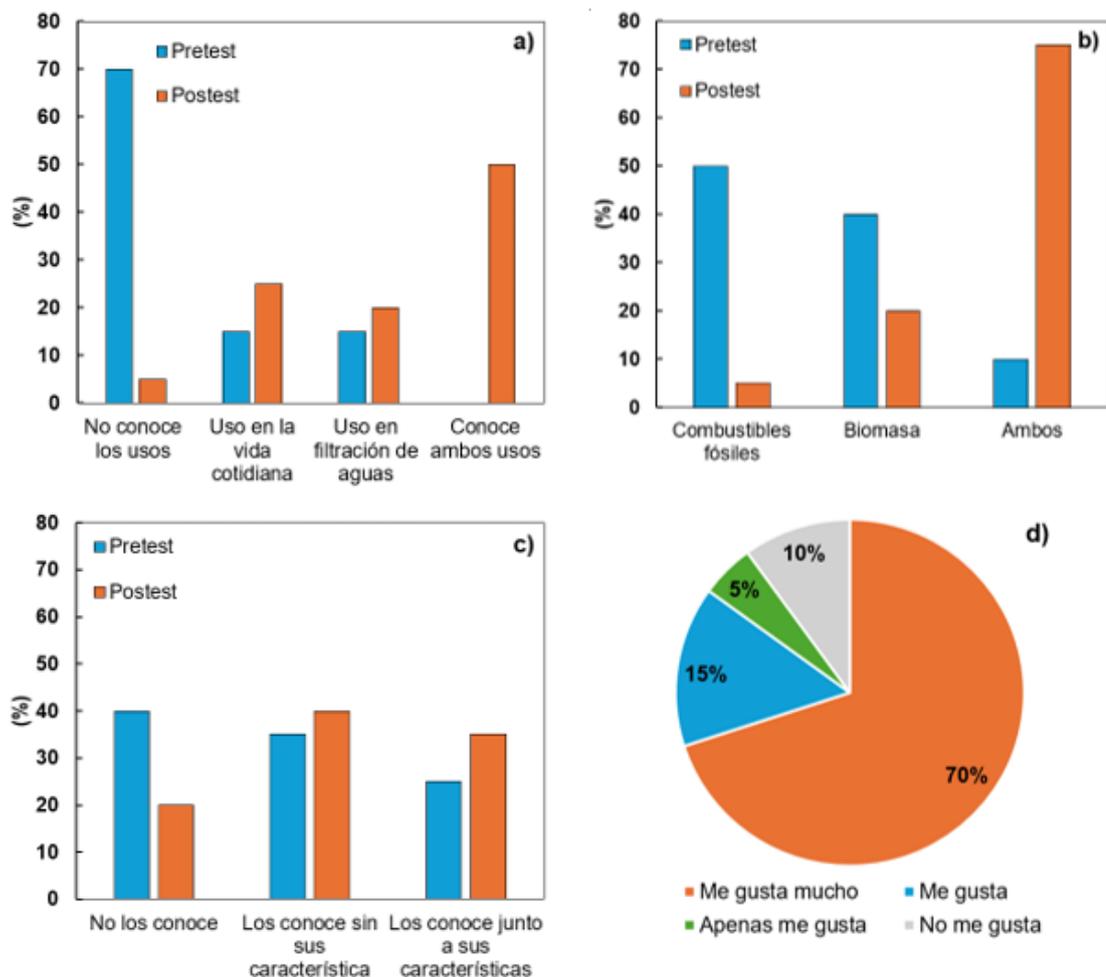


Figura 1. Resultados de las encuestas preliminar y posterior a las secuencias de actividades sobre los conocimientos en referencia al a) uso del carbón activo, b) la procedencia del carbón, c) los procesos termoquímicos aplicados a la biomasa y d) la impresión global de la actividad.

Por otra parte, respecto a la impresión de la secuencia de actividades y la satisfacción del alumnado con la metodología empleada, más del 70 % del alumnado mostró un alto grado de satisfacción con la actividad, con tan sólo un 5 % del alumnado indicando su desagrado (Fig. 1d). Entre las impresiones algunos alumnos incluso alegaban que estos conocimientos adquiridos les será útil para su futuro profesional.

4.2 Valoración de los docentes

Durante la realización de las actividades, el personal científico estuvo en contacto con profesores de educación secundaria a cargo del alumnado. Tras la implementación de la secuencia de actividades se consultó al claustro sobre sus impresiones, mostrando un alto grado de satisfacción acerca del interés mostrado por los alumnos y su implicación en las diferentes actividades propuestas. Se mostraron, además, muy propensos a la realización de este tipo de iniciativas y valoraron muy positivamente el conocimiento adquirido por su alumnado.

5. Conclusiones

La secuencia de actividades propuesta por el personal investigador para los proyectos de divulgación científica La Noche en las Aulas y Proyecto Educativo ScienceIES han mostrado ser herramientas eficaces

para la adquisición de conocimiento relacionado con los usos de la biomasa en el camino hacia la sostenibilidad global por parte del alumnado de secundaria. A su vez, les ha permitido desarrollar competencias como el pensamiento crítico, el trabajo en equipo o las habilidades de comunicación, muy necesarias para su formación como ciudadanos del siglo XXI. Además, la valoración del interés tanto por parte del alumnado, como del profesorado de secundaria han sido muy positivas, poniendo de manifiesto la capacidad de estas sesiones teórico-prácticas de motivar a los estudiantes.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo agradecen a la Universidad de Málaga por la concesión del proyecto de innovación educativa PIE22-153 y al personal del SCAI por su entrega y disposición a que los alumnos visitaran su centro de trabajo.

Bibliografía

^[1] Murillo-Zamorano, L.R., López Sánchez, J.Á., Godoy-Caballero, A.L., Bueno Muñoz, C. Gamification and active learning in higher education: is it possible to match digital society, academia and students' interests? *International Journal of Educational Technology in Higher Education* 18, 15 (2021).

[2] Mugaloglu, Ebru Z. The problem of pseudoscience in science education and implications of constructivist pedagogy. *Science and Education* 23, 829-842 (2014).

[3] Olmedo Estrada, J.C. Educación y divulgación de la Ciencia: tendiendo puentes hacia la alfabetización científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 8, 137-148 (2011).

[4] Diego-Mantecón, J., Blanco, T., Ortiz-Laso, Z., Lavicsa Linz, Z. Proyectos STEAM con formato KIKS para el desarrollo de competencias claves. *Comunicar* 66, 33-43 (2021).

[5] "Acciones Marie Skłodowska-Curie (MSCA)". Available in: <https://www.horizonteeuropa.es/msca> (Mayo 2024).

[6] Miri, B., David, B.C., Uri, Z. Purposely Teaching for the Promotion of Higher-order Thinking Skills: A Case of Critical Thinking. *Research in Science Education* 37, 353-369 (2007).

[7] Caeiro Rodriguez, M., Manso Vázquez, M., Fernández, A., Llamas Nistal, M. Teaching Soft Skills in Engineering Education: An European Perspective. *IEEE Access* 9, 29222-29242 (2021).

[8] "Sustainable Development Goals". Available in <https://www.un.org/sustainabledevelopment/> (October 2022).

[9] García-Mateos, F.J., Berenguer, R., Valero-Romero, M.J., Rodríguez-Mirasol, J., Cordero, T. Phosphorus functionalization for the rapid preparation of highly nanoporous submicron-diameter carbon fibers by electrospinning of lignin solutions. *Journal of Materials Chemistry A* 6, 1219–1233 (2018).

[10] Rosas, J.M., Bedia, J., Rodríguez-Mirasol, J., Cordero, T. Preparation of hemp-derived activated carbon monoliths. Adsorption of water vapor. *Industrial and Engineering Chemistry Research* 47, 1288-1296 (2008).

[11] García-Mateos, F.J., Ruiz-Rosas, R., Marqués, M.D., Cotoruelo, L.M., Rodríguez-Mirasol, J., Cordero, T. Removal of paracetamol on biomass-derived activated carbon: Modeling the fixed bed breakthrough curves using batch adsorption experiments. *Chemical Engineering Journal* 279, 18-30 (2015).

[12] García-Rollán, M., Rivas-Márquez, M.N., Bertran-Llorens, S., Deuss, P.J., Ruiz-Rosas, R., Rosas, J.M., Rodríguez-Mirasol, J., Cordero, T. Biobased Vanillin Production by Oxidative Depolymerization of Kraft Lignin on a Nitrogen- and Phosphorus-Functionalized Activated Carbon Catalyst. *Energy and Fuels* 38, 7018-7032 (2024).