

Propuestas TFM

A continuación, se proponen las actividades a desarrollar durante el curso académico 2025/26. Además de estas tres actividades, serán bienvenidas diferentes propuestas del ámbito de la economía circular, tanto por parte del alumnado como profesorado y personal investigador. Estas propuestas serán evaluadas por la comisión académica del Aula.

Carbonización de residuos plásticos para obtener materiales basados en carbono renovable útiles en purificación de agua

La presente propuesta parte de los resultados obtenidos durante el curso 2024/25 sobre la pirólisis de PET (tereftalato de polietileno) y PP (polipropileno) mediante procesos de carbonización a temperaturas de 500 °C. Durante el curso académico 2024-2025 se ha concluido que el PET representa una opción preferente frente al PP para la obtención de materiales sólidos carbonáceos. Asimismo, la aplicación del Análisis de Ciclo de Vida (LCA, por sus siglas en inglés) ha permitido identificar los principales puntos críticos del proceso en términos de emisiones, lo que facilitará su optimización en un futuro próximo.

De este modo, el objetivo de esta línea de trabajo es avanzar en el conocimiento de la revalorización de residuos plásticos.¹ En esta etapa, el enfoque se centrará en el PET, con el objetivo de maximizar el rendimiento en la obtención de material sólido. El carbono obtenido será debidamente caracterizado. Con el fin de avanzar hacia la escalabilidad del proceso, se llevarán a cabo simulaciones mediante Aspen Plus®, cuyos resultados se utilizarán para el desarrollo de modelos de Análisis de Ciclo de Vida (LCA) más robustos y precisos.

Finalmente, los materiales obtenidos se utilizarán para desarrollar filtros que sean capaces de purificar agua que contenga diversos tipos de disruptores endocrinos. El estudio se centrará particularmente en el bisfenol A, y las sustancias perfluoroalquiladas y polifluoroalquiladas (conocidas como PFAS, los cuales han suscitado un creciente interés por parte de organismos públicos debido a su persistencia en el medio ambiente y sus efectos adversos sobre la salud humana.² De esta manera se obtendrán materiales carbonáceos tipo nanotubos de carbono, carbón amorfó, microesferas de carbono, que se caracterizarán caracterizados mediante microscopía electrónica (SEM, TEM), y difracción de rayos X. Posteriormente, se estudiará el potencial de dichos materiales como refuerzo mecánico en materiales poliméricos. El objetivo principal es desarrollar una nueva generación de materiales compuestos derivados de residuos plásticos, con propiedades mecánicas mejoradas, orientados a su aplicación potencial en aplicaciones estructurales. Asimismo, se plantea completar el trabajo con estudios de ACV, y poder valorar el empleo de estos procesos y materiales como una novedosa alternativa a materiales con capacidad de secuestro de carbono.

¹ Critical advances and future opportunities in upcycling commodity Polymers. *Nature*, 2022, 603, 803-814

² Removal of perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances from tap water by means of point-of-use treatment: A review. *Science of The Total Environment*, 2024, 954, 176764

Utilización de aceites utilizados de cocina para producción de biocombustibles

Los seres humanos hemos utilizado durante siglos biocombustibles o combustibles derivados de la naturaleza. Como resultado del avance de nuevas tecnologías, muy especialmente en los últimos años, se ha comenzado a valorar y realizar ensayos para el aprovechamiento de su potencial como combustibles alternativos al petróleo. El desarrollo de alternativas energéticas ambientalmente sostenibles y renovables ha sido impulsado por el creciente costo de la energía como resultado de la disminución de las reservas de combustibles fósiles, la dependencia energética de muchas regiones económicamente desarrolladas y los impactos ambientales negativos derivados del uso de éstos, así como por la creciente necesidad de reintroducir en la cadena de valor de subproductos y residuos. Las energías limpias son alternativas asequibles a las fuentes de energía actuales y contribuyen a la descarbonización. Entre este tipo de energías se encuentra el biodiesel, que se produce a partir de biomasa.

El modelo energético actual es insostenible y las consecuencias del calentamiento global son cada vez más acusadas y graves, por lo que resulta necesario cambiar los patrones de producción y consumo. Esta transición requerirá promover soluciones de energía limpia que sean asequibles para todos los países y que puedan reemplazar el actual modelo energético basado en combustibles fósiles. En este marco, en el curso 2024/25 se evaluó el valor de los aceites vegetales utilizados en la cocina (UCO, Used Cooking Oil) para la producción de biodiésel (UCOME, Used Cooking Oil Methyl Ester). Además se realizó un análisis del estado del arte sobre los procesos de obtención tanto del UCOME, FAME (Fatty Acid Methyl Ester) y HVO (Hydrotreated Vegetable Oil). Finalmente, se llevó a cabo un Análisis de Ciclo de Vida (ACV), para evaluar los impactos ambientales de la generación de UCOME y se compararon con los impactos ambientales generados en la producción de HVO y diésel convencional.

Para continuar con los avances en esta línea, el curso 2025/26 se propone:

- Analizar el potencial de generación de biocombustibles en Bizkaia. Para ello, se estudiarán los datos estadísticos sobre generación de residuos de aceite de cocina usados en Bizkaia, puntos de recogida y generación en diferentes municipios, rutas de transporte, etc. También se explorará la posibilidad de integrar las tecnologías de transformación de UCO en biocombustibles en el contexto industrial de Bizkaia.
- Ampliar los límites del sistema del ACV para incluir la fase de uso del biocombustible (UCOME y HVO) para evaluar los principales impactos ambientales. Se compararán los impactos ambientales derivados del uso de biocombustibles frente a los de combustibles convencionales.
- Evaluar la sensibilidad del ACV considerando distintas unidades funcionales (masa, contenido energético, autonomía vehicular, etc.) y comparar los resultados utilizando distintas metodologías de cálculo (EF/PEF) de impactos ambientales (actualmente Recipe Midpoint enfoque cut-off).

Gestión y valorización de purines y lactosuero mediante tratamiento anaeróbico

Los purines generados en explotaciones ganaderas intensivas y el lactosuero procedente de la industria quesera constituyen residuos orgánicos abundantes y de elevada complejidad, cuya gestión sostenible representa un desafío tanto desde el punto de vista ambiental como económico. La presente línea de trabajo se enfoca en el desarrollo de estrategias eficaces para su tratamiento, con especial énfasis en el establecimiento de las condiciones óptimas para la digestión anaerobia durante el curso 2025/26.

Para alcanzar este objetivo, se realizarán diversas pruebas de digestión anaerobia en laboratorio, bajo condiciones controladas. Este tratamiento biológico no solo permite una gestión ambientalmente sostenible de los purines, sino que además posibilita la generación de biogás, un combustible de alto valor energético, así como de digestato, un residuo sólido que puede ser utilizado como enmienda orgánica para su aplicación en suelos. Para ello, partiendo de los resultados obtenidos durante el curso 2024/25, se realizará un estado del arte de los biorreactores empleados para digestiones anaerobias y el estudio de los parámetros de diseño. Una vez realizada esta primera aproximación, se procederá con la primera fase experimental de digestión anaerobia, en la que se realizarán ensayos experimentales en discontinuo en las condiciones de operación más adecuadas para estudiar la producción de biogás y su composición, entre otros.

Se continuará con el trabajo desarrollado anteriormente, planteando la codigestión de purines y lactosuero como estrategia principal, y se valorará también la incorporación de un tercer sustrato, como por ejemplo la Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos (FORSU), para evaluar su efecto en la cinética, el equilibrio nutricional y el rendimiento del proceso.

El lactosuero, subproducto con elevada carga orgánica procedente de la elaboración de queso, aporta una fracción líquida rica en lactosa y proteínas, lo que lo convierte en un sustrato adecuado para la digestión anaerobia. Además, su alto contenido de agua puede favorecer el equilibrio hídrico del reactor sin necesidad de aporte externo. La codigestión con purines y/o FORSU permitirá analizar sinergias entre sustratos, evaluar ratios de mezcla óptimos y establecer condiciones de operación que maximicen la producción de biogás.

La cantidad a mezclar y las condiciones de operación de estas pruebas experimentales se acabarán de definir tras una intensa búsqueda bibliográfica. También se estudiará el efecto que pueda tener el realizar un pre-tratamiento al sustrato (térmico, ultrasonidos...). Se seleccionará también la relación C/N a emplear, ya que el NH₃ actúa como un inhibidor de la digestión anaerobia. Destacar que los ensayos bajo las condiciones y sustratos seleccionados se realizarán por duplicado.

Paralelamente, se llevarán a cabo diferentes análisis químicos para realizar un seguimiento de la digestión, así como para la caracterización de los sustratos. Durante los ensayos se tomarán medidas diarias de producción de biogás y se determinará su composición por cromatografía gaseosa, a partir de la cual se establecerá su poder calorífico. También se caracterizará el digestato obtenido en las distintas condiciones ensayadas y se hará un estudio de sus posibilidades de valorización. La caracterización consistirá en:

- a) análisis elemental (C, H, N y S)
- b) Análisis TGA para la determinación de la humedad, sólidos totales, sólidos volátiles y cenizas.
- c) Contenido en metales por ICP-OES
- d) pH
- e) Seguimiento de las fases de la digestión anaerobia mediante GC-MS

La caracterización detallada permitirá efectuar el balance de materia del proceso, monitorear el desarrollo de las distintas fases de la digestión anaerobia y determinar si el digestato producido cumple con las especificaciones técnicas y normativas requeridas para su uso seguro y eficaz como enmienda orgánica. Se hará una revisión bibliográfica de caracterización que se podría realizar a este digestato, y se llevará a cabo lo que sea posible con los medios disponibles en el laboratorio. Se planteará también una prueba de efecto del digestato en el crecimiento de plantas, se realizará el estudio teórico de necesidades y diseño experimental.