

Informe final publicable de proyecto

Coprocesamiento de grasas y aceites con derivados de petróleo para combustibles más sustentables

Código de proyecto ANII: FSE_1_2022_1_174831

Fecha de cierre de proyecto: 01/06/2026

JACHMANIÁN ALPUY, Iván (Responsable Técnico - Científico)

MARTÍNEZ GADEA, Natalia (Investigador)

VOLONTERIO FABIANO, Elisa (Investigador)

CALLEJAS CAMPIONI, Nicolas (Investigador)

CASTIGLIONI ALONSO, Jorge Raúl (Investigador)

GRASSI RODRÍGUEZ, Joaquín (Investigador)

IRIGARAY GONZÁLEZ, Bruno Alejandro (Investigador)

RUBBO CASSINA, Agustín (Becario)

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA. FACULTAD DE QUÍMICA (Institución Proponente) \\ FACULTAD DE QUÍMICA. FUNDACIÓN PARA EL PROGRESO DE LA QUÍMICA

Resumen del proyecto

Si bien en los últimos años Uruguay ha diversificado en forma notable su matriz energética incorporando fuentes de energía renovables, lo que le ha permitido disminuir su histórica dependencia de los combustibles fósiles y desacoplar las emisiones de CO₂ del crecimiento de la economía, aún se identifican debilidades.

En particular, la eliminación de la obligatoriedad de incorporar biodiesel al gasoil ha impactado en las emisiones de CO₂ del sector de transporte y cuestiona la posibilidad de cumplimiento de compromisos internacionales asumidos. Además conlleva costos para el estado vinculados al cumplimiento del contrato con el proveedor del aceite para la fabricación de biodiesel y riesgos de costos financieros vinculados a una reciente emisión de bono soberanos indexados a indicadores de cambio climático.

En este escenario, el coproceso de triglicéridos junto con derivados de petróleo mediante el hidrotratamiento catalítico, aparece como una alternativa muy atractiva, ya que implicaría mínimos ajustes sobre operativa de unidades de hidrotratamiento de una refinería convencional, como las disponibles en ANCAP.

Esta propuesta estudió el efecto de la incorporación de corrientes de grasas animales y aceites vegetales al proceso tradicional de hidrotratamiento de diesel derivado de petróleo. Se estudió el efecto de las diferentes variables operativas sobre la eficiencia del proceso, las propiedades y composición de los productos y la vida útil del catalizador. Asimismo, se identificaron y caracterizaron materias primas no comestibles, capaces de conferirle una mayor sustentabilidad al proceso.

Ingeniería y Tecnología / Ingeniería Química / Ingeniería de Procesos Químicos / Hidrotratamiento catalítico

Palabras clave: Coprocesamiento / Hidrotratamiento / Combustibles sustentables /

Antecedentes, problema de investigación, objetivos y justificación.

ANTECEDENTES DEL PROYECTO

1.- Las grasas y los aceites comestibles como materias primas para biocombustibles

Los triglicéridos, principal componente de las grasas y aceites comestibles de origen vegetal o animal, son una importante fuente renovable de energía y han sido utilizados con este fin de diferente manera, ya sea como tales sin modificar o convertidos químicamente a algún tipo de derivado [4]. El principal biocombustible líquido ha sido hasta el momento el biodiesel, el cual es obtenido mediante la transesterificación de un aceite vegetal o grasa animal con un alcohol (usualmente metanol) en presencia de un catalizador químico (básico o ácido) para producirlos ésteres metílicos de los ácidos grasos (FAME) y, como subproducto, glicerol. Las propiedades de los FAME son muy similares a las del gasoil convencional derivado del petróleo, siendo compatible su uso mezclado con éste en un amplio rango de proporciones o incluso, ocasionalmente, puro. De ahí que este derivado de las grasas y aceites comestibles se ha constituido en uno de los biocombustibles líquidos más relevantes en los últimos años, constituyéndose en una alternativa viable y conveniente para alcanzar metas y satisfacer compromisos de reducción de consumo de combustible fósiles [4].

Si bien la utilización del biodiesel como combustible en los motores de ignición por compresión ha sido una herramienta muy eficaz y conveniente para la sustitución de derivados de petróleo a nivel mundial, habiendo tenido también un impacto positivo años atrás sobre la matriz energética y productiva de nuestro país, es conocido que presenta también varios inconvenientes. Estos se vinculan principalmente a la presencia de dobles enlaces en las cadenas hidrocarbonadas que lo constituyen, lo que le confiere a este material muy baja estabilidad oxidativa en comparación al gasoil convencional lo cual, además de limitar su vida útil y causar problemas en su almacenamiento, permite la generación de compuestos poliméricos que disminuyen su eficiencia como combustible, generando depósitos en los filtros de combustible y en las boquillas de los inyectores de los motores [5].

Presenta también otros inconvenientes, como malas propiedades de flujo en frío (elevada temperatura de obstrucción del filtro en frío) y un mayor consumo de combustible en comparación con un combustible diésel fósil [6].

Adicionalmente, la producción de biodiesel genera como subproducto una gran cantidad de glicerina (próximo al 10 %), cuya adecuada purificación para aumentar su valor agregado presenta varias dificultades, así como su destino a algún uso alternativo o incluso su venta en forma cruda. Sumado a esto, el contenido de ácidos grasos de las materias primas destinada a la transesterificación básica convencional no puede ser muy elevado, ya que por encima de un 2 % de ácidos grasos libres son necesarias etapas de pretratamiento adicionales, lo que dificulta y encarece la conversión de materiales grasos de bajo costo [6].

Estos varios inconvenientes explican que desde el año 2013 el límite máximo recomendado para la mezcla de biodiesel con gasoil para que el combustible cumpla la norma europea EN590 sea de sólo el 7,0 % (v/v), valor que se espera que no cambie en el futuro debido a los aspectos negativos antes mencionados [7].

2.- El hidrotratamiento catalítico como alternativa.

Debido a esta problemática una alternativa de creciente interés en la última década consisten convertir los triglicéridos en hidrocarburos mediante "hidrotratamiento catalítico", mediante el cual el aceite es sometido a alta temperatura y presión de H₂ en presencia de un catalizador adecuado. Es conocido que mediante este tipo de proceso es posible la remoción total del oxígeno de los

triacilglicerolos para obtener una mezcla de parafinas e isoparafinas de punto de ebullición similar a las del gasoil y propano como subproducto. A este otro tipo de biocombustible líquido se lo ha denominado "biogasoil" (o "green diesel"). Este biogasoil contiene una mezcla de alcanos lineales o ramificados y, si la hidrogenación de las cadenas hidrocarbonadas es completa, puede tener excelente estabilidad termoxidativa y alto número de cetano, entre otras ventajas [8].

A diferencia de los ésteres metílicos de ácidos grasos, el biogasoil se trata de un combustible libre de oxígeno capaz de superar los inconvenientes que presenta el biodiesel, lo que convierte al "hidrotratamiento" de triglicéridos en una alternativa muy atractiva. Además, la conversión del glicerol a propano evita la formación de la glicerina de baja calidad típica de la transesterificación [8].

Si bien nuestro país no cuenta con ninguna planta que opere con esta tecnología, el avance del conocimiento en esta área ha permitido desde hace varios años el desarrollo del comercio del biogasoil, comúnmente identificado como "HVO" (o aceite vegetal hidrogenado), mediante la instalación de procesos tecnológicos rentables a escala industrial.

Una de las empresas más importantes del mercado en la finlandesa Neste. Esta empresa instaló su primera planta industrial en el año 2007 en la ciudad de Porvoo, Finlandia, ubicada junto a una refinería de petróleo. La misma comenzó operando en un 90 % con aceite de palma para posteriormente optar por el uso de aceites de soja y colza y, más recientemente, incrementando el procesamiento de aceites de desecho proveniente de procesos de fritura de alimentos y otras industrias. En el año 2020 fue líder del mercado comercializando más de 1.5 MMT por año producidas en sus plantas en Finlandia y Holanda, seguida por la italiana ENI con 1.06 MMT. [9].

En el área de los combustibles de aviación uno de los primeros procesos fue desarrollado por la empresa UOP Honeywell Company. Previamente UOP y ENI S.p.A. (UOP/ENI Ecofining™) desarrollaron un proceso para producir "green diesel" a partir de aceites vegetales combinando saturación catalítica, hidrodeoxigenación, decarboxilación e hidroisomerización. La incorporación de una etapa de craqueo selectiva permitió un rendimiento máximo del 36 % en combustible de aviación (o SFA, Sustainable Aviation Fuel), con una conversión total a hidrocarburos del 70 %. También la empresa UOP ha sido un actor importante en el área de los biogasoil o "green diesel". UOP es un proveedor líder de tecnología para el proceso HDO y se ha asociado con varios productores de biocombustibles, como AltAir Fuels y Ensyn, para convertirlos aceites vegetales y el aceite de pirólisis en combustibles líquidos, respectivamente [9].

3.- Principales características del proceso.

El hidrotratamiento catalítico involucra la combinación de varios mecanismos simultáneos, siendo los más importantes: saturación de los dobles enlaces de las cadenas hidrocarbonadas de los ácidos grasos, ruptura del enlace éster y eliminación de oxígeno e isomerización y ramificación de las cadenas hidrocarbonadas.

La remoción del oxígeno puede darse mediante la hidrodeoxigenación (HDO), la hidrodecarbonilación (HDCn) y la hidrodecarboxilación (HDCx), en orden decreciente de consumo de hidrógeno [10], constituyendo la etapa más importante y característica del proceso. Las tres tienen en común que generan hidrocarburos y convierten al glicerol constituyente del triacilglicerol en propano, pero presentan características que las diferencian y pueden, en determinadas circunstancias, determinar la conveniencia de favorecer la ocurrencia una u otra [10]. Mientras que la HDO es la única que preserva el largo de la cadena hidrocarbonada de los ácidos grasos que constituyen el material de partida, tanto la HDOx como la HDCn la reducen en una unidad. Luego, la HDO es la que consume más hidrógeno y la que genera mayor cantidad de agua, en el otro extremo se ubica la HDCx, consumiendo la menor cantidad de H₂ y sin generar agua, mientras que la HDCn presenta valores intermedios para ambos parámetros. Obviamente la generación de CO o CO₂ es característica de la HDCn o la HDCx, respectivamente, por lo que el nivel de estos compuestos en el producto permite medir el grado en que contribuyen ambas reacciones al proceso global.

Los aceites y grasas más comunes están constituidos por ácidos grasos de 16 y 18 carbonos, por lo que de ocurrir exclusivamente los procesos mencionados el producto estará compuesto por hidrocarburos en el rango C₁₅-C₁₈. Este tipo de producto puede ser usado como sustituto renovable de un diesel Clase 2 con excelente desempeño en motores de ignición por compresión de vehículos convencionales.

Si el proceso se realiza en condiciones tales que se favorezca la ocurrencia de fenómenos de cracking, capaces de fragmentar las cadenas hidrocarbonadas y aumentar la población de hidrocarburos más cortos en el producto, es posible enriquecer el producto en una fracción apta para destinar a combustibles de aviación, favoreciendo la generación de hidrocarburos correspondientes al rango propio de este tipo de combustible (C₉-C₁₆).

También puede ocurrir la formación de alcanos de cadena más larga que las propias del material de partida (C₁₉ y C₂₀), lo que se ha atribuido a la ocurrencia de procesos de elongación de la cadena por mecanismos del tipo síntesis de Fischer-Tropsch, probables en las condiciones de reacción.

La diversidad de procesos que pueden tener lugar determina que, al igual que en una destilería de petróleo convencional, el producto del proceso deba ser fraccionado mediante destilación, obteniéndose fracciones de diferente peso molecular aptas para diferentes aplicaciones [10].

En algunos casos el ajuste de la composición del producto al rango de largos de cadena necesario no es condición suficiente para ajustar el combustible a determinado uso. Por ejemplo en el caso de un combustible destinado a aviación es necesaria también la existencia de un porcentaje mínimo de isoparafinas en el producto, en el entorno del 40%, a los efectos de asegurar adecuadas propiedades de flujo en frío [8].

Esta complejidad ha conducido a que a escala industrial lo más común sea el tratamiento en dos etapas, ocurriendo en la primera la hidrodeoxigenación y en una segunda la isomerización y el cracking, tal como ha sido reportado para los procesos NexBTL (de Neste Oil) y Ecofinin (de UOP/Eni).

Si bien las empresas manejan con reserva los detalles sobre las condiciones de reacción y las características del proceso, los productos que obtienen presentan una población de hidrocarburos de composición muy diversa, por lo que el proceso finaliza con una destilación para el fraccionamiento del producto, lo que les permite comercializar diversos tipos de biocombustibles como "biogasoil" (similar diésel), "jet-fuel", naftas y gases licuados.

En suma, el biogasoil es un biocombustible parafínico con un rango de ebullición dentro del rango del gasoil fósil, pero cuyas n- e isoparafinas son de mejor calidad que las propias de los combustibles diésel del petróleo crudo, con excelentes propiedades (alto número de cetano, libre de aromáticos y azufre, etc.) y que puede producirse a partir de la hidrogenación de triglicéridos o ácidos grasos derivados de materiales de desecho [10].

No sólo presenta ventajas frente al biodiésel por sus propiedades y versatilidad, sino que su producción puede realizarse en las unidades de hidrotatamiento disponibles en una refinería convencional. Adicionalmente, es posible mediante este proceso convertir corrientes de triglicéridos puros o coprocesarlos mezclados con diésel convencional [7], lo que representa una ventaja considerable. Este aspecto constituirá el foco de este proyecto, como se describe más adelante.

Metodología/Diseño del estudio

Los trabajos previos realizados por nuestro grupo en esta línea de investigación, que incluyen la ejecución de varios proyectos de investigación y la realización de una tesis de doctorado finalizada recientemente (Dra. Elisa Volonterio, quien participa del equipo), han permitido montar el equipamiento necesario para conducir de forma segura reacciones de hidrotatamiento catalítico a alta temperatura y presión de hidrógeno de forma segura y con un excelente control de los parámetros de proceso, lo que permite la reproducibilidad de las condiciones de reacción.

Los trabajos previos involucraron el estudio de la conversión mediante el proceso de interés de aceites vegetales puros, tanto refinados como aceites de descarte provenientes de procesos de fritura de alimentos. Dichos trabajos han demostrado que si bien el proceso propuesto presenta una gran complejidad dado los diferentes mecanismos que se desencadenan en las condiciones de temperatura y presión a que debe someterse el sistema, esta misma complejidad le confiere al proceso una alta versatilidad, ya que mediante la conveniente selección de los parámetros de reacción o de las características y naturaleza del catalizador así como de la combinación de ambos efectos, es posible direccionar el proceso hacia la obtención de productos de muy diferentes características.

Asimismo, estos trabajos han sentado las bases para continuar profundizando en este campo de conocimiento, el cual se encuentra en una etapa de desarrollo vertiginoso.

En esta propuesta implicó el desafío de procesar este tipo de materiales mezclados con combustibles de origen fósil, lo cual implicó modificar varios aspectos de la estrategia y metodología aplicadas previamente. En particular, los productos presentaron una complejidad superior dada la diversidad de tipos de hidrocarburos e isómeros involucrados, lo que requirió aumentar el potencial analítico respecto al utilizado anteriormente. Esto se logró con equipamiento analítico moderno disponible recientemente en nuestra institución y por equipamiento adquirido con el financiamiento para la ejecución de esta propuesta. Por este motivo la investigación se inició con la puesta a punto de estas nuevas metodologías, para continuar luego con el desarrollo del estudio del proceso como se describe a continuación.

- 1.- Puesta a punto de equipamiento y nuevos métodos analíticos (GC-MS y ED-XRS).
- 2.- Relevamiento y caracterización de materiales grasos no comestibles disponibles en nuestro medio.
- 3.- Síntesis y caracterización de catalizadores.
- 4.- Hidrotatamiento de gasoil puro en reactor tubular de laboratorio.
- 5.- Desempeño de los catalizadores convencionales y los alternativos sintetizados en el coproceso de mezclas de gasoil con diferente porcentaje de aceite comestible refinado.
- 6.- Ensayos de hidrotatamiento de mezclas de gasoil con materiales grasos no comestibles.

Resultados, análisis y discusión

- 1.- Puesta a punto de equipamiento y nuevos métodos analíticos.

Se adquirió e instaló el cromatógrafo de gases con detector de espectrometría de masas (GC-MS). Una vez operativo, se puso a punto el método de análisis de productos en base a la norma ASTM D8276-19, diseñada para la determinación detallada de la composición en hidrocarburos de combustibles diesel, incluyendo parafinas, isoparafinas, parafinas policíclicas, el contenido de aromáticos y aromáticos policíclicos y otros compuestos minoritarios. Esta herramienta analítica permitió una completa caracterización de los productos y analizar el efecto de los parámetros del proceso sobre su composición.

Asimismo, se adquirió e instaló el complemento de software de Shimadzu para la realización de análisis por destilación simulada (SimDis). Esta técnica resultó de gran utilidad para determinar el porcentaje destilado en función de la temperatura de los productos obtenidos, permitiendo evaluar su potencial aplicabilidad como biocombustibles.

- 2.- Relevamiento y caracterización de materiales grasos no comestibles disponibles en nuestro medio.

Se recabó información de diferentes colegas vinculados a empresas que habían trabajado en esta temática, entre ellas la aceitera COUSA S.A., la planta de biodiésel de ALUR en Capurro y diversas empresas recolectoras de aceites usados que operaban en Uruguay. Sorpresivamente, todas las muestras de UCO mostraron niveles de compuestos polares y polímeros dentro de rangos aceptables para

aceites de fritura. Mientras que las muestras de origen doméstico presentaron los mayores índices de peróxidos, las de origen comercial exhibieron los mayores contenidos de polímeros.

El DCO exhibió un perfil de ácidos grasos característico del aceite de maíz y una elevada acidez (cercana al 10 %, expresada como ácido oleico). Esta característica limita significativamente sus aplicaciones alimentarias, incluso después de un eventual proceso de refinación, por lo que constituye una materia prima particularmente atractiva para su valorización mediante hidrotratamiento.

3.- Síntesis y caracterización de catalizadores.

En base a los antecedentes reportados recientemente en la literatura y a resultados propios, los trabajos iniciales se realizaron fundamentalmente utilizando catalizadores NiMo y CoMo preparados mediante impregnación de sales metálicas sobre soportes de alúmina con diferentes características texturales y morfológicas, incluyendo alúminas de distinta porosidad y pellets comerciales.

El estudio del desempeño de ambos catalizadores en este proceso fue de particular interés, dado que constituyen los sistemas catalíticos más ampliamente utilizados en las unidades de hidrotratamiento de refinerías. La síntesis de ambos catalizadores fue supervisada por el grupo del LAFIDESU y se llevó a cabo mediante métodos convencionales de impregnación de soluciones de sales precursoras de níquel, cobalto y molibdeno sobre pellets de alúmina.

Todos los catalizadores fueron caracterizados mediante técnicas de rutina, incluyendo la determinación del área superficial específica (BET), volumen y diámetro de poro, análisis termogravimétrico (TGA), espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR) y caracterización estructural mediante difracción de rayos X de polvo con refinamiento de Rietveld. Estas técnicas permitieron determinar la composición, estructura y propiedades texturales de los catalizadores utilizados.

4.- Hidrotratamiento de gasoil puro en reactor tubular de laboratorio.

Se realizaron ensayos de hidrotratamiento catalítico de gasoil sin tratar (destilados medios) con el objetivo de evaluar el desempeño de los catalizadores NiMo y CoMo sintetizados. Se procuró operar bajo condiciones lo más próximas posible a las empleadas en las unidades de hidrotratamiento de ANCAP, a efectos de comparar el comportamiento del proceso a escala de laboratorio con el observado a escala industrial.

Estos ensayos, así como los descritos en las secciones siguientes, se llevaron a cabo en un reactor tubular Parr 5401 de 24 mL, equipado con componentes provistos por distintos fabricantes. Entre los principales equipos se encontraban dos controladores/medidores de flujo de gases (H_2 y N_2 ; Bronkhorst, EE. UU.), una bomba de alimentación de líquidos de alta presión (Shimadzu, Japón), un horno de alta temperatura (Carbolite, Reino Unido), un condensador y separador de líquidos (Parr, EE. UU.) y un controlador de contrapresión (Tescom, EE. UU.).

El desempeño de los diferentes catalizadores sintetizados se evaluó operando el sistema dentro de rangos de condiciones similares a los empleados en estudios previos: temperaturas entre 300 y 380 °C, presiones de hidrógeno entre 80 y 100 bar, relaciones H_2 /sustrato entre 500 y 700 Nm^3/m^3 y velocidades espaciales líquidas (LHSV) entre 1 y 2 h^{-1} .

Si bien la caracterización de los productos reveló cambios mínimos en la distribución de longitudes de cadena respecto al gasoil de partida, en todos los casos se observó una marcada disminución del contenido de compuestos aromáticos y, como consecuencia, un incremento en la proporción de cicloparafinas.

5.- Desempeño de los catalizadores convencionales y los alternativos sintetizados en el coproceso de mezclas de gasoil con diferente porcentaje de aceite comestible refinado.

Se realizaron corridas de coprocesamiento por hidrotratamiento de mezclas de gasoil y aceite refinado de girasol alto oleico (HOSFO), empleando proporciones máxicas de aceite del 5, 10, 15 y 20 %. Al igual que en el procesamiento de gasoil puro, los productos obtenidos mostraron una importante reducción, prácticamente hasta su desaparición, del contenido de compuestos aromáticos, con el consecuente aumento en la proporción de cicloparafinas.

Adicionalmente, se observaron variaciones en la distribución de longitudes de cadena de los hidrocarburos lineales. Mientras que el coprocesamiento con 5 % de HOSFO produjo una corriente enriquecida en hidrocarburos con menos de 12 átomos de carbono, el incremento de la proporción de HOSFO al 10 % favoreció la formación de hidrocarburos con más de 12 átomos de carbono. Asimismo, porcentajes superiores de HOSFO en la alimentación condujeron a productos con mayores contenidos de hidrocarburos en el rango C17–C18, lo que sugiere que bajo estas condiciones predominó la desoxigenación del ácido oleico.

También se estudió la influencia del uso repetido de los catalizadores, observándose una disminución progresiva de la conversión, consistente con una gradual pérdida de actividad catalítica. Este comportamiento se evaluó mediante la determinación de la conversión global a hidrocarburos (HC) y se complementó con estudios de área superficial específica (BET) y análisis termogravimétrico (TGA). Los resultados evidenciaron modificaciones en el área superficial y en las propiedades texturales de los catalizadores.

Paralelamente, se sintetizaron catalizadores NiMo con diferentes cargas de níquel. Se observó que el incremento en el contenido de este metal condujo a mayores conversiones, además de promover las rutas de desoxigenación por descarboxilación/descarbonilación (HDCn/HDCx) frente a la hidrodesoxigenación (HDO).

6.- Ensayos de hidrotratamiento de mezclas de gasoil con materiales grasos no comestibles.

En esta etapa, y en base a los resultados obtenidos previamente, se realizaron ensayos destinados a evaluar el desempeño del proceso

empleando los diferentes catalizadores seleccionados para la conversión de materias primas grasas no comestibles identificadas durante las actividades descritas en el punto 2.

Cuando se ensayaron aceites usados de fritura (UCO) y aceite destilado de maíz (DCO) puros, es decir, sin mezclar con gasoil, se alcanzaron conversiones a hidrocarburos (HC) ligeramente superiores al 70 %, valor claramente inferior al obtenido durante el procesamiento de aceites refinados. Asimismo, se observó una progresiva desactivación de los catalizadores, probablemente asociada a la presencia de trazas de metales y de compuestos fosforados, azufrados y nitrogenados en estas materias primas.

El coprocesamiento de estos materiales grasos con gasoil, utilizando las mismas proporciones empleadas previamente para el HOSFO refinado, condujo a un incremento en el contenido de hidrocarburos de los productos obtenidos. Al momento de redactar este informe, se continúa evaluando si esta mejora en el desempeño del proceso se debió a una mayor actividad de los catalizadores frente a las mezclas o al simple efecto de dilución de los materiales grasos no comestibles en el gasoil fósil.

Conclusiones y recomendaciones

Los resultados obtenidos demostraron que el proceso propuesto fue altamente eficiente para la conversión tanto de aceites refinados puros como de mezclas de estos con gasoil derivado del petróleo. Asimismo, si bien la conversión de materiales grasos no comestibles puros presentó un rendimiento inferior al obtenido con aceites refinados, su coprocesamiento con gasoil permitió obtener productos constituidos por más de un 95 % de hidrocarburos.

Estos resultados sugieren que el coprocesamiento, además de constituir una alternativa conveniente para la incorporación de corrientes de aceites refinados mezcladas con derivados del petróleo a procesos de hidrotratamiento catalítico, permite también la conversión eficiente de materiales grasos no comestibles de baja calidad. En estos casos, la selección de la proporción de dichos materiales a incorporar al proceso resulta un factor clave y debe realizarse en función de sus parámetros de calidad.

Productos derivados del proyecto

Tipo de producto	Título	Autores	Identificadores	URI en repositorio de Silo	Estado
Tesis de maestría	Coprocesamiento de grasas y aceites con derivados de petróleo para combustibles más sustentables	Agustín Rubbo	POS_FSE_2022_1_1012589		En proceso
Póster	Effect of nickel content in NiMo/Al2O3 catalyst on yield and reaction pathways during the hydrotreating of high-oleic sunflower oil	Rubbo, Agustín; Volonterio, Elisa; Amaya, Alejandro; Jachmanián, Iván	https://hdl.handle.net/20.500.12008/55082	https://hdl.handle.net/20.500.12008/55082	Finalizado
Póster	Pretratamiento de productos de hidrotratamiento catalítico mediante metilación y SPE para su análisis por GC-MS	Rubbo, Agustín; Volonterio, Elisa; Jachmanián, Iván	https://hdl.handle.net/20.500.12008/55080	https://hdl.handle.net/20.500.12008/55080	Finalizado
Póster	Producción de biogasoil mediante hidrotratamiento catalítico de aceites de fritura	Rubbo, Agustín; Volonterio, Elisa; Jachmanián, Iván	https://hdl.handle.net/20.500.12008/55083	https://hdl.handle.net/20.500.12008/55083	Finalizado

Referencias bibliográficas

- Ministerio de Ambiente, 2020. Primera Contribución Determinada a Nivel Nacional(<https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/comunicacion/publicaciones/primera-contribucion-determinada-nivel-nacional>).
- Informe Final del Comité de Expertos sobre el Mercado de Combustibles 2020. (https://medios.presidencia.gub.uy/tav_portal/2020/noticias/AH_215/INFORME%20FINAL.pdf).
- Anuario Opya, 2023 (<https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/noticias/uruguay-emitio-primer-bono-indexado-indicadores-sostenibilidad-cambio>) (2023).

4. Moser. *Lipid Technol.* 22: 270–3 (2010)
5. Kochetkova et al., *Fuel Processing Technology* 142, 319–325 (2016).
6. Rahman et al., *J. Clean. Prod.* 69, 208-215 (2014).
7. Sági et al., *J Clean Prod* 161, 1352–1359 (2017).
8. Kalnes et al., *Journal of Chemical Reactor Engineering* 5, (2007).
9. Aizarani, Leading HVO biodiesel producers by capacity in Europe 2020. *Statistics*, 17 (2023)
10. Hancsok et al., *Chemical Engineering Transactions* 35: 1027-1032 (2013)
11. OPP, Presente y futuro de las energías renovables en Uruguay 2050, Serie de divulgación, Vol 10 (2019).
12. Badoga et al., *J. Energy and Fuels* 34, 7160–7169 (2020).
13. Bezergianni et al., *Prog Energy Combust Sci* 68, 29–64 (2018).
14. Biswas et al., *Int J Green Energy* 18, 793–811 (2021).
15. Donnis et al., *Top Catal* 52, 229–240 (2009).
16. Fratzczak et al., *J. M. Energies (Basel)* 14, (2021).
17. Pedezert, A. Jefe de Ingeniería de Procesos de ANCAP, comunicación personal (2023)

Licenciamiento

Reconocimiento 4.0 Internacional. (CC BY)

