

Informe final publicable de proyecto

Diseño y optimización de un proceso de hidrot ratamiento catalítico en continuo de aceites vegetales apto para ser escalado por una refinería convencional

Código de proyecto ANII: FMV_3_2022_1_172277

Fecha de cierre de proyecto: 01/11/2025

VOLONTERIO FABIANO, Elisa (Responsable Técnico - Científico)

AMAYA VEZZOSO, Alejandro (Investigador)

CASTIGLIONI ALONSO, Jorge Raúl (Investigador)

GRASSI RODRÍGUEZ, Joaquín (Investigador)

JACHMANIÁN ALPUY, Iván (Investigador)

SUESCUN PEREYRA, Leopoldo (Investigador)

VIEITEZ OSORIO, Ignacio Alberto (Investigador)

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

Resumen del proyecto

Se realizaron ensayos experimentales utilizando catalizadores de diferente naturaleza: dos catalizadores comerciales, NiMo(c)/Al₂O₃ y CoMo(c)/Al₂O₃, y cuatro catalizadores preparados en el laboratorio: NiMo(s)/Al₂O₃ con diferentes contenidos metálicos (5%, 10% y 15% de Ni) y NiMoCe(s)/Al₂O₃, modificado con cerio. Todos los catalizadores fueron caracterizados mediante análisis de área superficial BET y difracción de rayos X (DRX), con el objetivo de evaluar su estructura cristalina y propiedades texturales. Antes de ser utilizados en los ensayos, todos fueron sometidos a un proceso de reducción para asegurar la activación de las fases metálicas.

Todos los ensayos catalíticos se llevaron a cabo en un reactor Parr modelo 5402 de 24 mL de capacidad, modalidad continua. En la primera etapa de ensayos, se mantuvieron constantes las condiciones de operación: temperatura, presión de hidrógeno, flujo de hidrógeno y flujo de alimentación de aceite, con el fin de asegurar la comparabilidad de los resultados. Utilizando para esta etapa aceites refinados, HOSFO (aceite de girasol alto oleico) y RBO (aceite de salvado de arroz).

Bajo las condiciones de reacción optimizadas y utilizando el catalizador NiMo(c)/Al₂O₃ identificado como el que presentó mejor desempeño en términos de conversión, se evaluaron materiales grasos de bajo costo, como aceites de fritura usado y destilado de maíz (DCO), como forma de promover el uso de subproductos industriales para la producción de biocombustibles. Los resultados fueron complementados, realizando una Simulación de la Destilación (SimDis).

Asimismo, se realizaron ensayos con gasoil y mezclas de corrientes vegetales en distintos porcentajes con el objetivo de proporcionar información sobre las mismas. Se continuará estudiando el coproceso, con el objetivo de promover una ruta tecnológicamente viable y ambientalmente sostenible.

Se lograron los objetivos propuestos, y se prevé la continuación de los estudios orientados al análisis del coprocesamiento y continuar con la evaluación de distintos catalizadores.

Ingeniería y Tecnología / Otras Ingenierías y Tecnologías / Otras Ingenierías y Tecnologías / Biocombustibles Líquidos

Palabras clave: Hidrotratamiento / Biocombustibles / Catalizadores /

Antecedentes, problema de investigación, objetivos y justificación.

Antecedentes:

Los triglicéridos, principales componentes de las grasas y aceites de origen vegetal o animal, representan una fuente renovable de energía con gran potencial (Huber et al., 2006). Actualmente, el biodiésel es el biocombustible líquido más difundido, derivado de estas materias primas, y constituye una alternativa viable frente a los combustibles fósiles (Moser, 2010). Sin embargo, su baja estabilidad oxidativa, debida a la presencia de dobles enlaces, genera depósitos en filtros e inyectores (Kochetkova et al., 2016).

Una opción más eficiente es el hidrotratamiento catalítico, proceso en el cual los aceites vegetales se someten a altas temperaturas y presiones de hidrógeno en presencia de un catalizador para obtener una mezcla de parafinas e isoparafinas aptas como biocombustibles (Vonortas y Papayannakos, 2014). Esta tecnología produce combustibles con excelente estabilidad termo-oxidativa, alto número de cetano y propiedades comparables a los combustibles fósiles (Yang et al., 2013; Unlu et al., 2018). Los productos obtenidos se denominan green diesel o biojet fuel, según su rango de hidrocarburos (Scaldeferri y Pasa, 2019), y presentan ventajas ambientales y económicas, ya que el glicerol se transforma en propano y se generan subproductos gaseosos reutilizables (Tsuiji et al., 2014; Brandão et al., 2020).

El hidrotratamiento se ha posicionado como una de las tecnologías más prometedoras para producir biocombustibles sostenibles (Choi et al., 2015; Dujanutat et al., 2020). Si bien los catalizadores de metales nobles presentan alta eficiencia, su costo impulsa la búsqueda de alternativas más accesibles. Se han desarrollado catalizadores basados en metales de transición como NiMo o CoMo, aunque los compuestos sulfurados generan contaminación (Wang y Tao, 2016). Recientemente, se han estudiado catalizadores libres de azufre con resultados alentadores, como NiMoLa/Al₂O₃ (Liu et al., 2012) o Ni/SiO₂-Al₂O₃, con conversiones superiores al 70% (Malins, 2021). Además, se ha reportado el uso de niobio fosfato como catalizador alternativo bajo condiciones moderadas, alcanzando una conversión del 97% (Scaldeferri y Pasa, 2019).

Otra ventaja significativa del hidrotratamiento es su compatibilidad con refinerías existentes, lo que permite aprovechar la infraestructura y reducir inversiones. Los productos pueden mezclarse directamente con combustibles fósiles y cumplen los estándares internacionales de calidad (Souza et al., 2016; Unlu et al., 2018).

A nivel mundial, empresas como UOP Honeywell, Neste Oil, Repsol, Volkswagen y Audi lideran la producción e incorporación de estos biocombustibles. Neste produce NExBTL, utilizado por aerolíneas como Lufthansa, y ha implementado mezclas renovables en el aeropuerto de Zúrich (Neste, 2020; Díaz-Pérez et al., 2020). Repsol inauguró en Cartagena una planta con capacidad de 250.000 toneladas anuales de biocombustibles (Repsol, 2022). Volkswagen desarrolló el R33 Blue Diesel, con un 26% de green diésel, reduciendo un 20% las emisiones (VW, 2018), mientras que Audi homologó motores diésel V6 para funcionar exclusivamente con green diésel, logrando una disminución superior al 70% (Audi, 2022).

En Uruguay, ANCAP aplica el hidrotratamiento desde hace más de quince años en procesos de refinación y participa en el Proyecto Piloto de Hidrógeno Verde, en conjunto con UTE, para producir H₂ mediante electrólisis (ANCAP, 2020). Esta iniciativa ofrece la oportunidad de integrar el hidrotratamiento catalítico a nivel nacional, impulsando la producción local de biocombustibles y contribuyendo a una matriz energética más sostenible.

Problema de investigación:

El proyecto se enmarcó en la búsqueda de fuentes alternativas de energía que puedan sustituir a las de origen fósil, debido al impacto negativo de estos sobre el ambiente. La propuesta se centró en el estudio del hidrotratamiento catalítico empleando un reactor tubular, con la posibilidad de una transferencia a escala industrial.

A nivel industrial, uno de los principales desafíos es el elevado consumo de hidrógeno. Procesos como NexBTL (Neste Oil) y Ecofining (UOP/Eni) demandan entre 300 y 420 m³ de H₂ por m³ de aceite.

Dado el alto costo del hidrot ratamiento, se prioriza el uso de catalizadores no nobles, más económicos y eficientes. Además, su aplicación puede disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero entre un 30 y 70% en comparación con los combustibles fósiles (Díaz-Pérez et al., 2020). En vehículos diésel V6, el uso de green diésel reduce más del 70% las emisiones (Audi, 2022).

El objetivo del proyecto se basó en optimizar la producción de biocombustibles a partir de diferentes materias primas, revalorizando productos de descarte industrial y promoviendo la diversificación de la matriz energética. Se busca desarrollar un proceso adaptable a las unidades de una refinería convencional, evitando grandes inversiones en infraestructura.

El hidrot ratamiento catalítico permite convertir aceites vegetales y grasas animales en biocombustibles líquidos de alta calidad, con excelente estabilidad oxidativa y número de cetano elevado. Dada la necesidad de reducir la huella de carbono del transporte aéreo, este proceso ofrece una alternativa viable para producir biojet fuel. Sin embargo, su costo sigue siendo mayor que el del combustible fósil, lo que exige incentivos económicos (Martínez-Hernández et al., 2019). En este contexto, el uso de aceites de fritura como materia prima surge como opción rentable y sostenible.

Diversas aerolíneas —como Air France y Air Canada— han probado biocombustibles derivados de aceites usados mezclados hasta en un 50% con combustible convencional (Wei et al., 2019). De forma similar, empresas automotrices como Audi y Volkswagen promueven el uso de green diésel, el cual presenta un mejor desempeño y menores emisiones que el diésel fósil (Di Blasio et al., 2022).

En Uruguay, la política energética busca fortalecer las energías sostenibles. El Plan Nacional de Eficiencia Energética (2005) y proyectos como Verne —impulsado por ANCAP— apuntan a reducir las emisiones del transporte mediante el uso de hidrógeno y biocombustibles.

El proyecto cuenta con la colaboración de ANCAP, que ha suministrado catalizadores comerciales, y con grupos de investigación nacionales como, LAFIDESU y Cryssmat-Lab, responsables del análisis, caracterización y preparación de catalizadores. Esta cooperación fortalece el conocimiento técnico, la formación de recursos humanos y sienta las bases para la transferencia tecnológica hacia una biorrefinería sostenible.

Objetivo General:

Diseñar un proceso continuo de hidrot ratamiento catalítico con diferentes materias primas en una etapa obteniendo un biocombustible líquido de alta calidad tal que pueda ser utilizado puro o combinado con los combustibles derivados del petróleo.

Esto implicará optimizar el proceso determinando la combinación adecuada entre los parámetros de reacción (materia prima, temperatura de reacción, presión de hidrógeno, flujo gaseoso, flujo de materia prima) y la naturaleza del catalizador (tipo de catalizador, metal activo, soporte) que permita maximizar el contenido de hidrocarburos.

Estudiar la viabilidad de trasladar las condiciones operativas optimizadas a la escala de las unidades de hidrot ratamiento de Destilados Medios que dispone nuestro país en la refinería de ANCAP, a los efectos de facilitar la transferencia de los resultados del proyecto a una empresa nacional.

Objetivos:

- 1) Síntesis y caracterización catalizadores de diferente naturaleza con alta actividad en el proceso de interés y capaces de promover la generación de productos enriquecidos en hidrocarburos
- 2) Ensayo de los catalizadores en modalidad continua para el procesamiento de aceites refinados, tomando como referencia las condiciones de reacción definidas en la unidad de hidrot ratamiento de ANCAP.
Seleccionar los catalizadores que permitan maximizar el contenido de hidrocarburos.
- 3) Estudio de la eficiencia del proceso de hidrot ratamiento en continuo utilizando los catalizadores seleccionados.
- 4) Evaluar el proceso ensayando materiales grasos de desecho de diferente origen y simular el proceso de la unidad de hidrot ratamiento de la refinería de ANCAP, realizando mezclas de corrientes vegetales en distinto porcentaje con gasoil; utilizando las condiciones de reacción resultantes de la optimización y los catalizadores que demostraron ser más eficientes.
- 5) Análisis de la adaptabilidad de trasladar la tecnología del hidrot ratamiento para obtener biocombustibles a partir de aceites vegetales a la unidad de hidrot ratamiento existente en la refinería de nuestro país.

Metodología/Diseño del estudio

1.- Síntesis y caracterización de catalizadores

El grupo de la Cátedra de Físicoquímica-LAFIDESU supervisará las actividades vinculadas a la preparación de los catalizadores de interés mediante los métodos de impregnación convencionales.

En base a los antecedentes reportados recientemente en la literatura y resultados propios, los trabajos iniciales se realizarán fundamentalmente en base a catalizadores ensayados previamente como por ejemplo NiMo, utilizándose diferentes soportes de sílice, alúmina y combinados. A su vez, estudiar la posibilidad de agregar un tercer metal o un promotor de la actividad.

El grupo de Cristalografía, realizará catalizadores el método sol-gel de autocombustión.

Todos los catalizadores serán caracterizados mediante métodos de rutina. El área superficial BET, volumen y diámetro de poro, análisis termogravimétrico, caracterización por FT-IR.

El grupo del Laboratorio de Cristalografía, Química del Estado Sólido y Materiales ejecutará las técnicas de caracterización estructural por difracción de rayos X de polvo y análisis de Rietveld, para determinar la composición y estructura de los catalizadores utilizados.

2.- Ensayos de los catalizadores en reactor tubular

Los ensayos se realizarán en modalidad continua disponible en nuestro laboratorio (Reactor Tubular PARR 5402, (24" L x 0.37" ID) sobre aceite de girasol refinado (a los efectos de no introducir variables relacionadas a la calidad del sustrato). Se tomarán las condiciones operativas de la planta de hidrot ratamiento de ANCAP como referencia para los ensayos. La composición de los productos (determinada por GC) permitirá clasificar los catalizadores en principio en función del grado de conversión alcanzado, la distribución de pesos moleculares de los hidrocarburos en el producto y grado de isomerización, a los efectos de seleccionar aquellos más atractivos para la generación de hidrocarburos

3.- Optimización del proceso

Luego de la selección de los catalizadores con mejor desempeño, se evaluará cada catalizador en diferentes condiciones de reacción (temperatura, presión, flujo gaseoso/masa de catalizador, flujo de sustrato/masa de catalizador) dado que, si bien las características del catalizador son determinantes sobre su actividad y selectividad, las condiciones de reacción también afectan de manera significativa su desempeño.

4.- Materias primas no comestibles

En la etapa final se realizarán ensayos primarios para evaluar la eficiencia del proceso en la conversión de materias primas complejas no comestibles (ej. oleínas industriales, sebos de elevada acidez, destilados de ácidos grasos y aceites de desecho de frituras). Un aspecto importante es poder utilizar materias primas de menor costo y que no compitan con la cadena alimenticia.

Evaluar la posibilidad de mezclar distintos flujos de aceite con diésel de origen fósil, para simular la unidad de hidrotratamiento ya existente en la refinería de ANCAP.

5.- Hacer un estudio de las instalaciones existentes en la Refinería de ANCAP y hacer una proyección de las posibilidades de adaptación del proceso en las unidades de hidrotratamiento de Destilados Medios.

Resultados, análisis y discusión

Se pudieron sintetizar y caracterizar diferentes catalizadores, con los cuales se realizaron ensayos con materias primas refinadas (HOSFO y RBO) y con diferentes condiciones de reacción.

De esos ensayos preliminares se puede concluir que tanto con el catalizador CoMo(c)(r) y NiMoCe(c)(r), las conversiones no superaron el 80%. Por este motivo se continuó con el ensayo de catalizadores de NiMo/Al₂O₃ preparados con diferentes porcentajes de Ni (5,10,15%), comparando con el catalizador comercial de la misma naturaleza y utilizando las mismas condiciones de reacción. En todos los casos, los catalizadores previo a su utilización se les realizó una reducción previa.

En la tabla 1 se detallan los resultados obtenidos con HOSFO como materia prima y los siguientes catalizadores utilizado las mismas condiciones de reacción P=80bar de H₂, 350°C, flujo de aceite 0.05ml/min:

Tabla 1:

Catalizador HC(%)
NiMo(c)(r) 98,8
NiMo(s)(r) (5%) 14,4
NiMo(s)(r) (10%) 17,3
NiMo(s)(r) (15%) 72,7

*c=comercial; r=reducido; s=sintetizado

También se realizaron ensayos con aceite de salvado de arroz (RBO) como otra alternativa de materia prima refinada, debido a que el RBO es muy utilizado a nivel gastronómico en la fritura de alimentos.

En la tabla 2 se muestran algunos de los resultados obtenidos con RBO:

Tabla 2:

Catalizador HC(%)
NiMo(c)(r) 99,7
NiMo(s)(r) (15%) 74,6

Se logró realizar la optimización del proceso, para el cual se aplicó un análisis de metodología de superficie de respuesta, mediante el cual se realizó un diseño experimental para estudiar el efecto de varias variables independientes sobre la respuesta (porcentaje de HC), se utilizó aceite de salvado de arroz de fritura (RBOf) y NiMo comercial previamente reducido.

Se aplicó un diseño factorial con tres variables definidas y dos niveles, las variables seleccionadas son las siguientes: la presión de H₂, la temperatura y el flujo de aceite, y dejó fijo el flujo de H₂ en 50 mL/min y la masa de catalizador en 6,5 g.

La región experimental quedó definida por los siguientes rangos para cada variable: 60-100 bar, 375-420 °C y 0,025-0,075 mL/min, respectivamente. Se fijó el punto central (PC) (0,0,0) en 400 °C, 80 bar y 0,05 mL/min de catalizador y seis puntos axiales (PA) ($\pm\alpha,0,0$), (0, $\pm\alpha,0$), (0,0, $\pm\alpha$).

De los resultados obtenidos en la superficie de respuesta se decidió continuar utilizando para los ensayos la siguiente condición:80bar, 367 °C y el flujo de aceite 0,07 mL/min.

Se realizaron ensayos tanto con aceite de fritura de descarte (UCO) y con destilado de maíz (DCO), ya que se está en la búsqueda constante de materias primas que permitan la utilización de subproductos generados en la industria. Para estos ensayos se utilizó NiMo(c)(r), de forma de no introducir otra variable al proceso.

Se logró convertir UCO y DCO, sin embargo, para los resultados obtenidos con UCO los niveles de conversión obtenidos resultaron inferiores a los esperados, lo que sugiere la influencia de la naturaleza y composición de las materias primas en la eficiencia del proceso catalítico. Algunos de los resultados se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3:

Materia prima HC(%)
UCO 87,3
DCO 95,1

Se realizaron ensayos tanto con gasoil (puro) como con mezcla de gasoil con corrientes vegetales en distintos porcentajes, utilizando las mismas condiciones de reacción que se utilizaron para los ensayos con UCO y DCO, y utilizando como catalizador NiMo(c)(r).

Este es un punto para continuar estudiando y ensayando distintos porcentajes de mezcla, por otro lado, continuar con el perfeccionamiento en la interpretación de los cromatogramas obtenidos.

Se realizó un estudio de adaptabilidad teórico, ya que no fue posible hacerlo con datos reales, ya que se estuvo en contacto tanto con el gerente de operaciones de ALUR como con el gerente de refinería de ANCAP y los datos que se manejan son confidenciales, por lo que fue posible realizar un análisis numérico, si teórico teniendo en cuenta aspectos que influyen en el proceso.

En términos de costos hay que tener en cuenta: costos de adquisición de equipos, costos de catalizadores, costos de generación de hidrógeno, precios de materias primas, estimación del precio de venta del combustible generado. Se debe agregar los costos operativos de mantenimiento y seguridad.

Conclusiones y recomendaciones

Se logró sintetizar y caracterizar con éxito diferentes catalizadores, comprobándose que la composición y el método de preparación influyen significativamente en la conversión obtenida durante los ensayos de hidrotratamiento de aceites vegetales.

El catalizador comercial NiMo(c)(r) mostró mayores porcentajes de conversión tanto para HOSFO como para RBO, superando las conversiones obtenidas con los catalizadores sintetizados, en las condiciones de reacción empleadas.

Mediante la metodología de superficie de respuesta se determinaron condiciones óptimas de reacción, permitiendo maximizar la conversión de hidrocarburos, para la materia prima y catalizador ensayados.

Se observó que la naturaleza, la composición y los contaminantes de la materia prima tienen influencia directa en el desempeño catalítico.

Los ensayos preliminares con gasoil puro y mezclas con corrientes vegetales mostraron resultados promisorios, abriendo la posibilidad de desarrollar biocombustibles mediante co-procesamiento, aunque se requiere profundizar en el estudio de proporciones de mezcla y en la interpretación de resultados.

El estudio teórico de adaptabilidad a la infraestructura existente de ANCAP evidenció la necesidad de considerar factores económicos clave —como costos de hidrógeno, catalizadores, materias primas y mantenimiento— para determinar la viabilidad técnica y económica del escalado del proceso.

Si bien la tecnología de hidrotratamiento ya está incorporada en ANCAP, unidad de destilados medios, por lo que si se realizara co-proceso o se implementara la construcción de una nueva planta, ambas son una gran ventaja, siendo el hidrotratamiento una tecnología factible técnicamente.

Productos derivados del proyecto

Tipo de producto	Título	Autores	Identificadores	URI en repositorio de Silo	Estado
Póster	Obtención de biocombustibles mediante hidrot ratamiento catalítico de aceites de fritura	Volonterio, Elisa; Jachmanián, Iván; Viertes, Ignacio; Castiglioni, Jorge; Bussi, Juan.		https://hdl.handle.net/20.500.12381/5287	Finalizado
Presentación en evento	Green diesel through continuous catalytic hydrotreating of high oleic sunflower oil	Volonterio, Elisa; Vieitez, Ignacio; Jachmanian, Iván.		https://hdl.handle.net/20.500.12381/5288	Finalizado
Póster	Caracterización de un aceite de fritura para la obtención de biocombustibles mediante hidrot ratamiento catalítico	Ruiz, Florencia; Callejas, Nicolás; Martinez, Natalia; Volonterio, Elisa.		https://hdl.handle.net/20.500.12381/5289	Finalizado
Nota de prensa	Charla sobre hidrot ratamiento en UniRadio	Elisa Volonterio	https://www.uniradio.edu.uy/2024/06/comunidad-udelar-martes-4-de-junio-pilar-teijeiro-y-alvaro-pan-cruz-sobre-la-ley-de-medios-y-enlace-quimico/		Finalizado
Presentación en evento	Efecto de la calidad de la materia prima en procesos de hidrot ratamiento y su impacto en la desactivación de catalizadores NiMo/Al2O3	Rubbo, Agustin; Volonterio, Elisa; Amaya, Alejandro; Suescun, Leopoldo; Segura, Nadia; Callejas, Nicolás; Jachmanián, Iván		https://hdl.handle.net/20.500.12381/5290	En proceso

Referencias bibliográficas

- 1- ANCAP. Historia de la refinería. Disponible en <https://www.ancap.com.uy/innovaportal/v/1581/1/innova.front/historia-de-la-refineria.html>. (Acceso 26 de abril de 2022)
- 2- ANCAP (2020). Piloto de producción de hidrógeno verde y su uso en vehículos pesados. Proyecto Verne.58-60, Disponible en <https://www.ancap.com.uy/innovaportal/file/8385/1/verne---presentacion-abril-2020.pdf>. (Acceso 26 de abril de 2022)
- 3- Ameen M, Tazli Azizan M, Yusup S, Ramli A, Shahbaz M, Aqsha A. Process optimization of green diesel selectivity and understanding of reaction intermediates. *Renewable Energy* 149:1092-1106, 2020.
- 4- AUDI-Sustainable fuel, lower emissions: Audi approves many of its V6 diesel engines for use with renewable fuel. Disponible en <https://www.audi-mediacycenter.com> (acceso 29 de abril de 2022)
- 5- Brandão R., Freitas Júnior A., Oliveira S., Suarez P., Prauchner M. The conversion of coconut oil into hydrocarbons within the chain length range of jet fuel. *Biomass Conv. Bioref.* 11, 837–847, 2020.
- 6- Choi I, Hwang K, Han J, Lee K, Yun J, Lee J. The direct production of jet-fuel from non-edible oil in a single-step process. *Fuel* 158:98–104, 2015.
- 7- Detoni C, Bertella F, Souza MMVM, Pergher SBC, Aranda DAG. Palladium supported on clays to catalytic deoxygenation of soybean fatty acids. *Appl Clay Sci* 95:388–395, 2014.
- 8- Di Blasio G., Ianniello R., Beatrice C., Hydrotreated vegetable oil as enabler for high-efficient and ultra-low emission vehicles in the view of 2030 targets. *Fuel* 310, 2022.
- 9- Díaz-Pérez M.A., Serrano-Ruiz J.C. Catalytic Production of Jet Fuels from Biomass. *Molecules* 25(4) 802, 2020.
- 10- Douvartzides S.L., Charisiou N.D., Papageridis N.K., Goula M.A. Green Diesel: Biomass Feedstocks, Production Technologies, Catalytic Research, Fuel Properties and Performance in Compression Ignition Internal Combustion Engines. *Energies*, 12, 809, 2019.
- 11- Dujanutat P, Kaewkannetra P. Production of bio-hydrogenated kerosene by catalytic hydrocracking from refined bleached deodorised palm/palm kernel oils. *Renewable Energy* 147:464-472, 2020.
- 12- Gutiérrez C, Gómez F, Lira J, Hernández S. A review on the production processes of renewable jet fuel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*; 79:709–729,2017.
- 13- Huber G.H., Iborra, Corma A. Synthesis of Transportation Fuels from Biomass: Chemistry, Catalysts, and Engineering. *Chemical Reviews* 106: 4044 – 4098, 2006
- 14- Jakkula J, Niemi V, Purola VM. Process for producing a hydrocarbon component of biological origin. US Patent 0230085, 2004.
- 15- Kochetkova D., Blazek J., Simacek P., Stas M., Beno Z. Influence of rapeseed oil hydrotreating on hydrogenation activity of CoMo catalyst. *Fuel Processing Technology* 142:319–325, 2016.
- 16- Kubicka D. Future refining catalysis – introduction of biomass feedstocks. *Collect Czech Chem Commun* 73:1015–1044, 2008.
- 17- Liu J, Liu C, Zhou G, Shen S, Rong L. Hydrotreatment of *Jatropha* oil over NiMoLa/Al₂O₃ catalyst. *Green Chemistry* DOI: 10.1039/c2gc35450k, 2012.
- 18- Malins K., Production of renewable hydrocarbons from vegetable oil refining byproduct/waste soapstock over selective sulfur-free high metal loading SiO₂eAl₂O₃ supported Ni catalyst via hydrotreatment. *Journal of Cleaner Production* 283,2021.
- 19- Martinez-Hernandez E., Luis Felipe Ramírez-Verduzco L.F., Amezcua-Allieri M.A., Aburto J. Process simulation and techno-economic analysis of bio-jet fuel and green diesel production —Minimum selling prices. *Chemical Engineering Research and Design* 146: 60–70, 2019
- 20- Moser B.R. Camelina (*Camelina sativa* L.) oil as a biofuels feedstock: golden opportunity or false hope. *Lipid Technol* 22:270-3, 2010.
- 21- Neste Oil Corporation, Neste Oil completes the first phase of its microbial oil pilot plant. Finland: Neste Oil; 2012
- 22- Neste Oil Corporation, Neste's sustainable aviation fuel available at Zurich airport during the World Economic Forum 2020.
- 23- Repsol-Repsol inicia las obras de construcción de la primera planta de biocombustibles avanzados de España en su refinería de Cartagena, Disponible en www.repsol.com (acceso 28 de abril de 2022)
- 24- Scaldaferrri C.A., Pasa V.M.D. Production of jet fuel and green diesel range biohydrocarbons by hydroprocessing of soybean oil over niobium phosphate catalyst. *Fuel* 245:458-466, 2019.
- 25- Souza F., Cardoso C., Pasa V. Producing hydrocarbons for green diesel and jet fuel formulation from palm kernel fat over Pd/C Fuel Processing Technology 143:35-42, 2016.
- 26- Tsuji T., Ohya K., Hoshina T., Hiaki T., Maeda K., Kuramochi H., Osako M. Hydrogen solubility in triolein, and propane solubility in oleic acid for second generation BDF synthesis by use of hydrodeoxygenation reaction. *Fluid Phase Equilibria* 362:383– 388, 2014.
- 27- Unlu D., Hilmioglu N.D. Review of renewable biofuels in the aviation sector. *Advances in Sustainable Aviation*. Springer 25-39-3, 2018.
- 28- Volkswagen-The Volkswagen brand tested a self-developed biofuel with partners. 1,300 vehicles covered 26 million kilometres without any problems. The project is now

going into regular operation. Disponible en <https://www.volkswagenag.com> (acceso 28 de abril de 2022)

29- Vonortas A, Papayannakos N. Comparative analysis of biodiesel versus green diesel. *WIREs Energy and Environment* 3: 3-23, 2014.

30- Wang W-C, Tao L. Bio-jet fuel conversion technologies. *Renew Sustain Energy Rev* 53:801–822, 2016.

31- Wei H., Liu W., Chen X., Yang Q., Li J., Chen H. Renewable bio-jet fuel production for aviation: A review. *Fuel* 254, 2019.

32- Yan B, Chen G. Technical review on jet fuel production *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 25:59-70,2013.

33- Yang Y, Wang O, Zhang X, Wang L, Li G. Hydrotreating of C18 fatty acids to hydrocarbons on sulphided NiW/SiO₂-Al₂O₃. *Fuel Processing Technology*. 116: 165–174, 2013.

34- Zhang B, Seddon D. *Hydroprocessing catalysts and processes, the challenges for biofuels production*. World Scientific Publishing Europe Ltd., Covent Garden, London, 2018.

Licenciamiento

Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional. (CC BY-NC-ND)

