

Combustibles alternativos de segunda y tercera generación para motores de combustión interna

Unidad ejecutora principal del resultado: Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría (CUJAE)

Entidad participante: Universidad de Gante, Bélgica.

Autores Principales

- Dr. Ramón Piloto Rodríguez (Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables CETER, Facultad de Ingeniería Mecánica. Cujae)
- MSc. Eliezer Ahmed Melo Espinosa (CETER, Facultad de Ingeniería Mecánica. Cujae)
- Dra. Lourdes Zumalacárregui de Cárdenas. (Facultad de Ingeniería Química. Cujae)
- Dr. Osney Pérez Ones (Facultad de Ingeniería Química. Cujae)
- Dr. Sebastian Verhelst (Departamento de Mecánica de la Combustión, Facultad de Ingeniería, Universidad de Gante, Bélgica)
- Dr. Leonardo Goyos Pérez (Departamento de Tecnología de Maquinarias, Facultad de Ingeniería Mecánica. Cujae)
- Dr. Pedro Antonio Rodríguez Ramos (Facultad de Ingeniería Mecánica. Cujae)
- MSc. Yisel Sánchez Borroto (CETER, Facultad de Ingeniería Mecánica. Cujae)
- Dra. Danay Carrillo Nieves (Facultad de Ingeniería Química. Cujae)
- MSc. Yosvany Díaz Domínguez (Facultad de Ingeniería Química. Cujae)

Colaboradores Científicos

- Dr. Roger Sierens (Departamento de Mecánica de la Combustión, Facultad de Ingeniería, Universidad de Gante, Bélgica)
- Dr. Jonas Galle (Departamento de Mecánica de la Combustión, Facultad de Ingeniería, Universidad de Gante, Bélgica)
- Dr. Magín Lapuerta (Universidad de Castilla La Mancha, España)
- Dr. Jordi Roger-Ribac (Universitat Politècnica de Catalunya, España)
- Dr. Alan Christopher Hansen (University of Illinois at Urbana Champaign, EUA)
- Ing. Indira Tobio Pérez (Facultad de Ingeniería Química. Cujae)
- Ing. Danger Tabio García (Facultad de Ingeniería Química. Cujae)
- Ing. Maylín Rondón Macías (Facultad de Ingeniería Química. Cujae)
- Dra. Elina Fernández Santana (Facultad de Ingeniería Química. Cujae)
- Dra. Susana Rodríguez Muñoz (Facultad de Ingeniería Química. Cujae)
- Dra. Beatriz Zumalacárregui de Cárdenas (Facultad de Ingeniería Química. Cujae)
- Lic. Cándida Ferrer (CETER, Facultad de Ingeniería Mecánica. Cujae)
- MSc. Martha Mazorra Mestre (CETER, Facultad de Ingeniería Mecánica. Cujae)

Resumen

Los trabajos de desarrollo y aplicación de combustibles alternativos en Cuba se reportan a partir de 1993 cuando se comenzó a trabajar la línea de desarrollo de emulsiones combustibles para su uso en motores. Hasta el 2000 se desarrollaron tensoactivos para estabilizar emulsiones y pruebas de banco y de camino. A partir del 2000 se comenzó a trabajar en las investigaciones relacionadas con las mezclas etanol-gasolina y a partir del año 2006 en el biodiesel, aceites vegetales y sus mezclas. Los resultados investigativos en el campo de los combustibles alternativos de los autores de esta propuesta datan de comienzos de 2007 y se consolidan a partir de la creación del grupo de investigaciones en Combustibles Alternativos de la Cujae en 2010. Varios miembros de esta propuesta fueron autores de la propuesta a premio ACC en 2012 (*Caracterización y evaluación de combustibles alternativos para su uso en Motores de Combustión Interna*). Dicha propuesta fue premio en 2013, la cual a diferencia de ésta, incluía combustibles alternativos de primera generación, aunque ya comenzaba a trabajar en los de segunda y tercera. La propuesta pasada no trataba aún resultados en el tema de las microalgas, ni el de microexplosion y formulaciones de emulsiones agua-combustible, así como tampoco ciclo de vida ni producción de etanol. Tampoco incluía resultados relativos al uso de la *Moringa oleífera* con fines energéticos. Por ello algunas de las líneas específicas declaradas en la presente propuesta y con resultados concretos son una continuidad de lo desarrollado o comenzado hasta 2012 en la propuesta anterior, pero la mayoría no.

Los resultados de la presente propuesta comprenden la publicación de un importante número de artículos en las principales bases de datos (14 en la web de las ciencias y 4 en Scopus), 5 Premios Internacionales, 8 Premios Nacionales, 1 defensa doctoral, 1 Patente y 1 Libro (que abarca resultados de investigaciones). Incluye 7 avales de aplicación, de potencial aplicación o de interés en los resultados. Entre los principales resultados obtenidos están: Formulación y evaluación de emulsiones con residuales industriales para su uso como combustibles alternativos, reduciendo carga contaminante. Producción de biomasa a partir de *Chlorella vulgaris* y su conversión en biodiesel. Modelos matemáticos para predecir el número de cetano de biocombustibles, retardo de la ignición y la tensión superficial. Matriz de evaluación del impacto ambiental de combustibles alternativos, demostrando la factibilidad del uso de la *Jatropha curcas* como combustible de segunda generación. Evaluación de la influencia del tipo de biocombustible y sus propiedades físicas en la atomización en la cámara de combustión, ofreciendo alternativas para mejorar la eficiencia de la combustión y mejor aprovechamiento de la energía. Conversión de etanol por vía fermentativa permitiendo disponer de información para acometer inversiones en plantas industriales, discriminando entre producir etanol por hidrólisis del bagazo o emplear este en la generación eléctrica a partir de su combustión.

7CAI B757 é B7CFH5

Los trabajos de desarrollo y aplicación de combustibles alternativos en Cuba se reportan a partir de 1993 cuando se comenzó a trabajar la línea de desarrollo de emulsiones combustibles (diesel-agua) para su uso en Motores de Combustión Interna. En una primera etapa que comprendió hasta el año 2000 se estuvieron desarrollando tensoactivos para estabilizar emulsiones y se estuvieron realizando pruebas de banco y de camino con las mismas en la entonces existente planta de emulsiones de la Cujae.

A partir del año 2000 se comenzó a trabajar en las investigaciones relacionadas con las mezclas etanol-gasolina y a partir del año 2006 en el biodiesel, aceites vegetales y sus mezclas. Los trabajos en esta línea se han continuado desarrollando abarcando la obtención, caracterización, análisis de ciclos de vida y sustentabilidad de las propuestas, modelación matemática relacionada con parámetros importantes que influyen en los procesos de combustión, análisis térmico, hasta su explotación en motores de combustión interna.

A pesar del enfoque que se le dio en Cuba en la década pasada al tema de los biocombustibles, este panorama ha ido cambiando toda vez que se conoce que los combustibles alternativos en la actualidad y las investigaciones y desarrollo de nuevos productos toman en consideración la competencia con la producción y el precio de los alimentos, así como el uso de terrenos cultivables aptos o no para producir alimentos [1-7]. Por ello, la producción de combustibles alternativos o biocombustibles a partir de desechos industriales o de fuentes no comestibles así como los combustibles alternativos de segunda, tercera y cuarta generación, son parte de una realidad que no se puede obviar cuando se quiera hacer un análisis objetivo de las ventajas y desventajas del empleo de estos en la economía y la sociedad [8-11]. Los biocombustibles de segunda generación son aquellos que no compiten con la producción de alimentos directamente (ej. *Jatropha curcas*) y los de tercera generación son aquellos que no compiten con la producción de alimentos pero tampoco utilizan terrenos aptos para cultivo alguno, utilizando un mínimo y a veces nulo espacio de tierra (ej. Microalgas).

Las investigaciones en este campo se han ido fortaleciendo con el paso del tiempo desde el Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER) y de trabajos conjuntos de este centro de estudios con la Facultad de Ingeniería Química de la propia institución. El grupo de Combustibles Alternativos en colaboración con otros grupos de investigaciones de dicha universidad trabajan en la búsqueda de soluciones y de propuestas tentativas aplicables a la realidad cubana y en una escala tal que permita resolver problemas locales, haciendo más efectivos y aplicables los resultados que se derivan de nuestras investigaciones. Una parte de las investigaciones se ha

centrado en el estudio de combustibles alternativos para su uso en motores diesel y la otra parte en la producción de etanol, potencialmente para motores de gasolina.

Se ha trabajado en investigaciones relacionadas con aceites vegetales y sus mezclas, tomando como base la *Jatropha curcas*, la obtención de biodiesel a partir de desechos, análisis de ciclos de vida de las variantes estudiadas o de las soluciones resultantes de las investigaciones, modelación de propiedades y parámetros, emulsiones combustibles que involucran combustibles alternativos en la búsqueda de una mayor eficiencia de la combustión; biocombustibles de tercera generación como las microalgas, estudios profundos del fenómeno de la microexplosión, hasta el fundamental uso de estos en motores de combustión interna (MCI).

En la parte correspondiente al etanol como un biocombustible para motores de encendido provocado, esta propuesta incluye resultados de trabajos relativos a la evaluación de varias fuentes potenciales para la obtención de etanol como biocombustible de segunda generación, basado en su obtención a partir de residuales industriales, reduciendo carga contaminante y generando otras posibilidades energéticas para su uso. De los resultados obtenidos, fue posible disponer de información para acometer estudios de inversión en plantas industriales, discriminando entre producir etanol por hidrólisis del bagazo o emplear este en la generación eléctrica a partir de su combustión.

Los resultados alcanzados que sostienen esta propuesta comprenden la publicación de un importante número de artículos en las principales bases de datos del mundo (14 en la web de las ciencias y 4 en Scopus) [10, 12-16], 5 Premios Internacionales, 8 Premios Nacionales, 1 defensa doctoral, 8 maestrías defendidas, 1 Patente y 1 Libro (que abarca resultados de investigaciones).

La pertinencia y actualidad, así como la importancia de continuar trabajando en la obtención de resultados y desarrollo de tecnologías y productos de uso inmediato en el contexto cubano y con las tecnologías existentes se evidencian en el complejo contexto energético por el que precisamente hoy pasa nuestro país. No tiene Cuba suficiente petróleo para satisfacer sus necesidades, es incierto el suministro estable que hasta hoy se ha tenido, los precios del petróleo tarde o temprano retomarán su tendencia a un ascenso continuo y algunas de las fuentes y tecnologías energéticas renovables más conocidas y promovidas en Cuba y el mundo no pueden satisfacer hoy el sector energético vinculado al transporte automotor.

A pesar del debate sobre el tema de los combustible alternativos (básicamente enfocado en los de primera generación) con respecto a su competencia directa o indirecta con la producción de alimentos, cada vez queda más demostrada en el mundo la factibilidad de la producción de biocombustibles para la solución de problemas

energéticos locales y para la reducción de la carga contaminante generada también a nivel local o industrial y la relación directa entre incremento del precio de los alimentos básicos y la producción de biocombustibles no está tan clara y continua siendo material de debate y análisis (Ver Fig.1).



Fig.1 Alza de los precios de los alimentos y su relación con la producción de biocombustibles y precios del petróleo

Antecedentes

Los trabajos y resultados investigativos en el campo de los combustibles alternativos de los autores de esta propuesta datan de comienzos de 2007 y se consolidan a partir de la creación del grupo de investigaciones en Combustibles Alternativos de la Cujae a inicios de 2010. Los primeros resultados fueron presentados como propuesta de premio a la Academia de Ciencias de Cuba (ACC) en 2012, con el título *Caracterización y evaluación de combustibles alternativos para su uso en Motores de Combustión Interna*. Dicha propuesta fue premio ACC en 2013, la cual a diferencia de ésta, incluía combustibles alternativos de primera generación, aunque ya comenzaba a trabajar en los de segunda y tercera. La propuesta pasada no trataba aún resultados en el tema de las microalgas, ni el de microexplosion y formulaciones de emulsiones agua-combustible, así como tampoco ciclo de vida ni producción de etanol. Tampoco incluía resultados relativos al uso de la *Moringa oleífera* con fines energéticos. Por ello algunas de las líneas específicas declaradas en la presente propuesta y con resultados concretos son una continuidad de lo desarrollado o comenzado hasta 2012 en la propuesta anterior, pero otras no.

Sin embargo, ya los trabajos que se han desarrollado en el presente periodo no incluyen ningún combustible de primera generación y hemos consolidados nuestros

trabajos en los de segunda e introducido los de tercera. En el caso particular de la modelación matemática de propiedades de combustibles alternativos, en la propuesta de 2012 esta línea estaba aún en un estado incipiente y la continuidad y perfeccionamiento de la misma aporta varios artículos, la defensa de una tesis de maestría y varios resultados de diversa índole, incluyendo la disponibilidad de diversas herramientas matemáticas para predecir propiedades y parámetros de combustibles.

Problemas de investigación

Disponer de fuentes alternativas de energía para motores diesel que no compitan con la producción de alimentos ni el uso de tierra fértil.

Reducir la carga contaminante generada por industrias de refinación de aceite vegetal.

Lograr un mejor aprovechamiento de la energía en la combustión en MCI a través de una combustión más eficiente.

Disponer de información que permita acometer estudios de inversión en plantas industriales, discriminando entre producir etanol por hidrólisis del bagazo o emplear este en la generación eléctrica a partir de su combustión.

Disponer de una alternativa eficiente para la producción de etanol, que además permita disminuir el volumen de vinazas a la salida de la columna destiladora y sus efectos negativos al medio ambiente.

Objetivos

- Caracterizar física y químicamente los combustibles alternativos de segunda y tercera generación para su uso en MCI.
- Determinar cuáles son los combustibles alternativos más adecuados así como las condiciones de explotación óptimas de los MCI trabajando con estas fuentes alternativas de energía.
- Modelar matemáticamente algunos de los parámetros y propiedades más importantes de los combustibles alternativos y de su proceso de combustión que permitan un mejor aprovechamiento de estos combustibles.
- Convertir residuales industriales en biodiesel.
- Lograr un uso más eficiente de la energía en biocombustibles y sus mezclas mediante la formulación de emulsiones.
- Evaluar los ciclos de vida de las fuentes de combustibles alternativos más tentativas para su uso en MCI.
- Desarrollar un estudio de variantes que permita acometer inversiones en plantas industriales, discriminando entre producir etanol por hidrólisis del bagazo o emplear este en la generación eléctrica a partir de su combustión.

- Disminuir el volumen de vinazas a la salida de la columna destiladora y sus efectos negativos al medio ambiente, con producción de etanol de manera eficiente.

Principales resultados obtenidos

- Formulación y evaluación de emulsiones que involucran grasas animales y residuales industriales con vistas a un uso de los mismos como combustibles alternativos, reduciendo carga contaminante generada por los mismos y evitando en algunos casos la transesterificación.
- Producción de biomasa a partir de cultivos con *Chlorella vulgaris* en diferentes condiciones experimentales para la extracción de aceite y posterior conversión en biodiesel.
- Se ha logrado mediante el uso de la modelación matemática, modelos que permiten mediante la determinación de la composición química de ácidos grasos de un biodiesel dado, estimar su número de cetano, propiedad importante de los combustibles y estrechamente relacionada con el tiempo de retardo de la ignición y la tensión superficial de diferentes tipos de combustibles alternativos para motores diesel.
- A través de los análisis de ciclo de vida y de factibilidad se demuestra la ventaja del uso de la *Jatropha curcas* con respecto a otros combustibles. A partir de estos estudios fue posible la obtención de una matriz de evaluación del impacto medioambiental de diferentes tipos de combustibles alternativos con el fin de generar trabajo útil en MCI, demostrando la factibilidad del uso de la *Jatropha curcas* como combustible de segunda generación.
- Se determina la influencia del tipo de biocombustible y sus propiedades físicas en los parámetros de la atomización del mismo en la cámara de combustión, ofreciendo alternativas para mejorar la eficiencia de la combustión y mejor aprovechamiento de la energía cuando estos son empleados en motores diesel, así como indicios de la ocurrencia del fenómeno de microexplosión.
- Se han identificado y caracterizado todos los residuales del proceso de refinación de los aceites vegetales para consumo humano, que tienen bajo valor comercial y generan un problema de contaminación y se trabaja continuamente en su conversión y uso en motores diesel como biocombustibles.
- Los estudios de conversión de etanol por vía fermentativa permitieron disponer de información que permite a los inversores y decisores, acometer inversiones

en plantas industriales, discriminando entre producir etanol por hidrólisis del bagazo o emplear este en la generación eléctrica a partir de su combustión.

- Patente de procedimiento que permite obtener un combustible emulsionando un residual industrial proveniente de la industria de refinación de aceites vegetales.
- Obtención de biodiesel de *Jatropha curcas* y *Moringa oleífera*, mediante estudios que abarcan desde la etapa del procesamiento de la biomasa hasta las pruebas en MCI.

Patente

Una de las líneas de investigación en desarrollo por el grupo de investigaciones es el empleo de residuales industriales para la producción de combustibles alternativos en aras de reducir la contaminación ambiental que estos generan y contribuir a la eficiencia energética de la propia industria. Otra línea desarrollada es la formulación y uso de emulsiones combustibles con vistas a mejorar el proceso de combustión y las prestaciones de los motores diesel.

De estas dos líneas de investigación se ha obtenido un resultado que se encuentra en la Oficina Cubana de la Propiedad Industrial (OCPI) como solicitud oficial de patente (ver documento anexo).

- Procedimiento para la obtención de combustibles emulsionados a partir de destilados de ácidos grasos. Patente CU2015000069 (2017). Solicitud Oficial No. 2015-0069. Ramón Piloto, Yosvany Díaz, Eliezer Ahmed Melo.

Logros fundamentales en el período comprendido entre 2013-2017

Publicación de artículos en la Web de las Ciencias (14)

1. Effect of emulsified fuels based on fatty acid distillates on single cylinder diesel engine performance and exhaust emissions. ***Applied Thermal Engineering***. (2017).120. 187-195. Eliezer Ahmed Melo, Ramón Piloto, Yisel Sánchez, Sebastian Verhelst.
2. Dehydration of ethanol using protic ionic liquids. ***Afinidad. Revista de Química Teórica y Aplicada*** (2017). 579, 200-205. Osney Pérez, Lourdes Zumalacárregui.
3. Assessment of diesel engines fueled with derivate from algae and microalgae. ***Renewable and Sustainable Energy Reviews***. (2017). 69, 833-842. Ramón Piloto, Yisel Sánchez, Eliezer Ahmed Melo, Sebastian Verhelst.
4. Extraction and characterization of oil from *Moringa oleifera* for energy purposes. ***Wulfenia Journal***. (2017) 24 (5). 86-103. Yosvany Díaz, Danger Tabio, Leonardo Goyos, Elina Fernández, Susana Muñoz, Ramón Piloto, Sebastian Verhelst.
5. Caracterización del biodiesel obtenido del aceite de *Jatropha curcas L.* (aceptado en septiembre 2017 para publicar en ***Afinidad. Revista de Química Teórica y Aplicada***). Pedro Rodríguez, Eliezer Ahmed Melo, Lourdes Zumalacárregui, Osney Pérez, Ramón Piloto.
6. Emulsified fuels based on fatty acid distillates and rapeseed oil: A physicochemical characterization. ***Fuel*** (2016).185, 734-742. Eliezer Melo, Ramón Piloto, Sebastian Verhelst.
7. Enzymatic hydrolysis of chemically pretreated mango stem bark residues at high solid loading. ***Industrial Crops and Products*** (2016) 83, 500-508. Danay Carrillo, Lourdes Zumalacárregui.
8. Emulsification of animal fats and vegetable oils for their use as a diesel engine fuel. ***Renewable and Sustainable Energy Reviews*** (2015) 47, 623-633. Eliezer Ahmed Melo, Ramón Piloto, Leonardo Goyos.
9. Emulsification of waste cooking oils and fatty acid distillates as diesel engine fuel. ***Proceedings of the ICEE***. 2nd International Conference on Energy and Environment. (2015) 354-365. Eliezer Melo, Ramón Piloto, Leonardo Goyos, Sebastian Verhelst
10. Obtención de biomasa de microalga *Chlorella vulgaris* en un banco de prueba de fotobiorreactores de columna de burbujeo. ***Afinidad. Revista de Química Teórica y Aplicada*** (2015) 574, 125-129. Pedro Rodríguez, Yunior Sánchez, Lourdes Zumalacárregui, Osney Pérez.
11. Impacto medioambiental del aceite de *Jatropha curcas* utilizado como biocombustible. ***Revista de Ingeniería Química del Uruguay*** (2014) 33-40.

Pedro Rodríguez, Leonardo Goyos, Ramón Piloto, Lourdes Zumalacárregui, Osney Pérez.

12. Conversion of by-products from the vegetable oil industry into biodiesel and its use in internal combustion engines. ***Brazilian Journal of Chemical Engineering*** (2014) 31 (2), 287-301. Ramón Piloto, Eliezer Ahmed Melo, Leonardo Goyos, Sebastian Verhelst.
13. Prediction of the cetane number of biodiesel using artificial neural networks and multiple linear regression. ***Energy Conversion and Management*** (2013) 65, 255-261. Ramón Piloto, Yisel Sánchez, Leonardo Goyos, Magín Lapuerta, Sebastian Verhelst.
14. Experimental investigation concerning the influence of fuel type and properties on the injection and atomization of liquid biofuels in an optical combustion chamber. ***Biomass and Bioenergy*** (2013) 57, 215-228. Jonas Galle, Ramón Piloto, Sebastian Verhelst.

De la lista de publicaciones en la web de las ciencias 8 artículos (57%) corresponden a publicaciones en revistas de alto factor de impacto: *Applied Thermal Engineering, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Fuel, Industrial Crops and Products, Brazilian Journal of Chemical Engineering, Energy Conversion and Management, Biomass and Bioenergy*.

Adicionalmente a estos artículos publicados en la Web de las Ciencias, hay 5 artículos en proceso de arbitraje en la misma base de datos:

- Experimental investigation on emulsified fuels produced with a microchannel emulsifier: Puffing and micro-explosion analyses. ***Fuel***. (Enviado en septiembre 2017). Eliezer Ahmed Melo, Ramón Piloto, Sebastian Verhelst.
- Simulación de la destilación extractiva con sales para la obtención de etanol deshidratado ***Revista Mexicana de Ingeniería Química***. Yeney Lauzurique, Osney Pérez, Lourdes Zumalacárregui, Dalia Rojas.
- Characterization and engine emissions evaluation of biodiesel of fatty acid distillates from the soybean oil industry. ***Environmental Progress and Sustainable Energy***. (Enviado en noviembre de 2016). Yosvany Díaz, Eliezer Ahmed Melo, Leonardo Goyos, Ramón Piloto, Sebastian Verhelst.
- Green-filamentous macroalgae *Chaetomorpha cf. gracilis* from Cuban wetlands as a feedstock to produce alternative fuel: A physicochemical characterization. (Enviado en septiembre de 2017). ***Fuel***. Yisel Sánchez, Eliezer Melo, Indira Tobío, Ramón Piloto.

- Análisis de los principales factores en el alza de los precios de los alimentos. (Enviado en junio de 2017). **Revista Lasallista de Investigación**. Marianela Ortiz, Ramón Piloto.

Publicación de artículos en SCOPUS (4)

- Evaluación de técnicas de deshidratación de etanol aplicando la simulación. **DYNA** (2017) 84 (200), 185-192. Lourdes Zumalacárregui, Osney Pérez, Geli Molina.
- Emulsification of Waste Cooking Oils and Fatty Acid Distillates as Diesel Engine Fuels: An Attractive Alternative. **International Journal of Sustainable Energy Planning and Management**. (2016) 9, 3-16. Eliezer Ahmed Melo, Ramón Piloto, Sebastian Verhelst.
- Surface tension prediction of vegetable oils using artificial neural networks and multiple linear regression. **Energy Procedia** (2014) 57, 886-895. Eliezer Ahmed Melo, Yisel Sánchez, Ramón Piloto, Sebastian Verhelst.
- Prediction of cetane number and ignition delay of biodiesel using Artificial Neural Networks. **Energy Procedia** (2014) 57, 877-885. Yisel Sánchez, Ramón Piloto, Sebastian Verhelst.

Adicionalmente, hay otros 2 en proceso en la misma base de datos:

- Performance of a single cylinder diesel engine using water-in diesel emulsion stabilized by a nonyl phenol based surfactant. Eliezer Ahmed Melo, Ramón Piloto. **Alexandria Journal of Engineering** (enviado en Abril 2014). Eliezer Ahmed Melo, Ramon Piloto, Sebastian Verhelst.
- Evaluación de condiciones experimentales básicas para la producción de biomasa a partir de la microalga *Chlorella vulgaris*. **Revista Ra Ximhai**. (enviado en Enero 2016). Yisel Sánchez, Indira Tobio, Yosvany Díaz, Ramón Piloto.

Publicación de artículos en revistas indexadas

Se publicaron 22 artículos en revistas indexadas de reconocido prestigio nacional o internacional.

1. Análisis comparativo de métodos de balance exergético en columnas de destilación alcohólica. **Revista Centro Azúcar**. 44 (2): 48-59 (2017) Arletis Cruz, Osney Pérez, Lourdes Zumalacárregui.
2. Empleo de semillas de *Moringa oleífera* en el tratamiento de residuales líquidos. **Ingeniería Hidráulica y Ambiental**. 38 (2): 87-101 (2017) Maylín Rondón, Yosvany Díaz, Susana Rodríguez, Elina Fernández, Danger Tabio.

3. Extraction and characterization of *Moringa oleífera* seed oil from Cuba. **Revista CNIC Ciencias Químicas** (Aceptado para publicar desde Febrero 2017). Yosvany Díaz, Danger Tabio, Maylín Rondón, Elina Fernández, Susana Muñoz, José María Ameneiros, Ramón Piloto.
4. Simulación de la destilación por cambio de presión para obtener etanol deshidratado **Centro Azúcar**. 43: 90-98 (2016). Yeney Lauzurique, Lourdes Zumalacárregui, Osney Pérez Ones.
5. Alternativas tecnológicas para reducir el volumen de vinazas y su tratamiento. **Centro Azúcar**. 43: 70-79 (2016). Dania Alonso, Norge Garrido, Osney Pérez, Lourdes Zumalacárregui.
6. Simulación de la destilación extractiva para la obtención de etanol anhidro empleando glicoles. **Ciencia, Docencia y Tecnología**. 27 (53): 362-383 (2016). Yeney Lauzurique, Lourdes Zumalacárregui, Osney Pérez, Aloimy Curbelo.
7. Deshidratación de etanol empleando líquidos iónicos. **Universidad, Ciencia y Tecnología** 20 (80): 124-133 (2016). Lidarsi Acosta, Osney Pérez, Lourdes Zumalacárregui.
8. Influencia de la presión y la humedad en la potencia eléctrica. **Ingeniería** 26 (2): 51-64, (2016). Osney Pérez, Lourdes Zumalacárregui, Pedro Rodríguez.
9. Potencialidades del bagazo para la obtención de etanol frente a la generación de electricidad. **Revista Ingeniería, Investigación y Tecnología**, 16 (3): 407-418 (2015). Lourdes Zumalacárregui, Osney Pérez, Pedro Rodríguez.
10. Alternativas tecnológicas para reducir el efecto ambiental de las vinazas de la industria alcoholera. **Revista ICIDCA**, Vol. 49, No.2, 44-49 (2015). Osney Pérez, Lourdes Zumalacárregui.
11. Aplicación de crudos enzimáticos de origen fúngico en la hidrólisis del bagazo de caña de azúcar. **Revista ICIDCA**, Vol.49, No.3, 9-10 (2015). Zurima Méndez, Julio Dustet, Lourdes Zumalacárregui.
12. By-products from the vegetable oil industry as a feasible source for biofuels production and pollution reduction. **Renewable Energy & Power Quality Journal**. ISSN 2172-038 X, No.12 (2014). Ramón Piloto, Eliezer Melo, Leonardo Goyos.
13. Performance of a single cylinder diesel engine fuelled with emulsified residual oleins and standard diesel fuel. **Renewable Energy & Power Quality Journal**. ISSN 2172-038 X, No.12 (2014). Eliezer Melo, Ramón Piloto, Leonardo Goyos.
14. Determinación del número de cetano del biodiesel a partir de su composición de ácidos grasos mediante regresión lineal múltiple y redes neuronales artificiales. **Revista CNIC Ciencias Químicas**. (2014) 45: 73-76. Yisel Sánchez.
15. Hidrólisis química y digestión anaerobia termofílica de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos. **Revista Cubana de Ingeniería**. (2014), 5 (1): 1-8. Yosvany Díaz, Elina Fernández, Susana Rodríguez.
16. Pretreatments employed in lignocellulosic materials for bioethanol production: An overview. **Revista ICIDCA**, 48 (1): 71-79 (2014). Danay Carrillo, Lourdes Zumalacárregui.
17. Caracterización de un motor diesel trabajando con mezclas de aceite de *Jatropha* y combustible diesel. **Ingeniería Energética**. 34 (3): 198-207 (2013). Ramón Piloto, Eliezer Melo, Leonardo Goyos.

18. Caracterización del comportamiento de un motor monocilindrico de encendido por compresión usando combustible emulsionado. **Revista CNIC Ciencias Químicas**. (2013) 44: 96-101. Eliezer Melo.
19. Investigación experimental de las prestaciones de un motor monocilíndrico usando combustible diesel emulsionado. **Ingeniería Energética**. 34 (1): 11-20 (2013). Eliezer Melo, Ramón Piloto, Leonardo Goyos.
20. Prediction of cetane number of biodiesel from its fatty acid ester composition using Artificial Neural Networks. **Renewable Energy & Power Quality Journal**. ISSN 2172-038 X, No.11 (2013). Ramón Piloto, Yisel Sanchez, Leonardo Goyos.
21. Engine performance of a single cylinder direct injection diesel engine fuelled with blends of Jatropha Curcas oil and standard diesel fuel. **Renewable Energy & Power Quality Journal**. ISSN 2172-038 X, No.11 (2013). Ramón Piloto, Eliezer Melo, Leonardo Goyos.
22. Cálculo del impacto medioambiental de la producción de biocombustibles derivados del aceite de Jatropha curcas. **Revista Cubana de Ingeniería**. (2013), 4 (1): 51-58. Pedro Rodríguez.

Premios obtenidos

Premios Internacionales

Todos los premios que se listan a continuación fueron otorgados a autores de la propuesta y están vinculados directamente a los resultados que se muestran en la misma:

1. Premio Internacional otorgado por la Universidad de Gante, Bélgica al Prof. Leonardo Goyos por los aportes a la investigación y proyectos de investigaciones desarrollados en 20 años (2013).
2. Mejor Ponencia en la Conferencia Internacional de Fuentes Renovables de Energía, CIER (2017). Experimental investigation on emulsions as diesel engine fuel. Eliezer Ahmed Melo, Yisel Sánchez, Ramón Piloto.
3. Mejor Ponencia en la Conferencia Internacional de Fuentes Renovables de Energía, CIER (2017). Comportamiento reológico de aceite y biodiesel de moringa oleífera. Yosvany Díaz, Danger Tabio, Maylin Rondón, Ramón Piloto.
4. Mejor Poster en la Conferencia Internacional de Fuentes Renovables de Energía, CIER (2017). Biodiesel obtenido a partir de jaboncillo proveniente de la refinación de aceites vegetales. Indira Tobio, Yosvany Díaz, Ramón Piloto.
5. Mejor Poster en la Conferencia Internacional de Fuentes Renovables de Energía, CIER (2017). Evaluación del proceso de secado de la macroalga *Chaetomorpha cf. gracilis* utilizando un secador solar y secado solar y una estufa eléctrica. Yisel Sánchez, Ahmed Melo, Ramón Piloto.

Premios Nacionales

1. Sello Forjadores del Futuro (Categoría de Personalidad). Lourdes Zumalacárregui (2017).
2. Sello Forjadores del Futuro. Indira Tobio Pérez (2017).
3. Medalla Carlos J. Finlay a Lourdes Zumalacárregui (2016).
4. Sello Forjadores del Futuro. Eliezer Ahmed Melo (2016).
5. Sello Forjadores del Futuro. Yosvany Díaz (2016).
6. Logro ICIDCA. Evaluación de alternativas de mejoras energéticas y ambientales en la destilería Jesús Rabí. Osney Pérez y Lourdes Zumalacárregui (2015).
7. Sello Forjadores del Futuro. Yisel Sánchez (2014).
8. Sello Forjadores del Futuro. Eliezer Ahmed Melo (2013).

Premios institucionales

1. Premio al trabajo que refleja el avance científico de mayor trascendencia y originalidad. Premio Cujae. “Aplicación de técnicas de análisis de procesos para mejoras tecnológicas y energéticas en la producción de biocombustibles” (2015). Facultad de Ingeniería Química e Ingeniería Mecánica.
2. Premio Cujae al Mérito Científico-Técnico al Resultado ya Aplicado Más Útil a la Educación Superior: “Contribución del simulador de procesos STA al aprendizaje de los alumnos de pregrado y postgrado en carreras de ingeniería durante los últimos veinte años”. Héctor Pérez de Alejo, Osvaldo Gozá, Osney Pérez, Yurisnel Corrales, Tomás Curbelo, Alain Pérez, Rigoberto Marrero, Lourdes Zumalacárregui, Yoandrys González (2015).
3. Logro científico del ICIDCA 2015 Evaluación de alternativas energéticas y ambientales en la destilería Jesús Rabí. Dania Alonso, Norge Garrido, Osney Pérez, Lourdes Zumalacárregui (2015).
4. Premio al Mérito Científico-Técnico al Colectivo de Investigación más Destacado en el Trabajo de Investigación y en la Promoción de los Procesos Innovativos (Investigaciones Integrales de Bioprocesos). Cujae (2013).
5. Grupo de investigaciones destacado a nivel de Cujae (2015). Combustibles Alternativos.
6. Grupo de investigaciones destacado a nivel de Cujae (2013). Combustibles Alternativos.