

## ENSEÑANDO TECNOLOGÍAS: BIODIESEL A PARTIR DE ACEITES USADOS

CASTELLAR RODRIGUEZ, M<sup>a</sup> Rosario; OBÓN DE CASTRO, Jose M<sup>a</sup>; ALACID CARCELES, Mercedes; Universidad Politécnica de Cartagena, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental

### RESUMEN

En la enseñanza de las Ciencias, tanto a nivel Universitario como en Secundaria, el medio ambiente es un tema de gran importancia que siempre despierta un gran interés en los alumnos. Los problemas medioambientales son consecuencia entre otros del elevado consumo de combustibles fósiles, que generan altas emisiones de CO<sub>2</sub> y amenazan con el cambio climático.

Ante estos problemas, las nuevas tecnologías destinadas a la producción de biocombustibles surgen como una necesidad para contribuir al desarrollo sostenible del planeta. El biodiesel producido a partir de grasas residuales vegetales o animales reúne en un mismo proceso el tratamiento y eliminación de un residuo difícil de degradar y su reciclado para obtener un bien de uso y consumo, el biodiesel. Éste se va a utilizar como combustible ecológico ya que no incrementa el CO<sub>2</sub> neto en su combustión. La Figura 1 muestra la integración del biodiesel en el ciclo del carbono.



Figura 1: Biodiesel en el ciclo del carbono

El biodiesel es el monoalquil éster de un ácido graso de cadena larga derivado de aceites vegetales o de grasas animales, que se utiliza en motores de ignición por compresión

(llamados Diesel). Se obtiene por transesterificación de grasas animales o aceites vegetales. Estos compuestos son ésteres de ácidos grasos y el trialcohol glicerol. En la reacción de transesterificación se sustituye el glicerol por etanol o metanol, se forman así los metil o etil ésteres de los mismos ácidos grasos (Figura 2). Esto se puede lograr tratando los triglicéridos con metanol o etanol en medio ácido o alcalino y la mezcla obtenida se separa en dos fases correspondientes al biodiesel y al glicerol (glicerina). El glicerol obtenido como subproducto tiene aplicaciones en otros sectores industriales, contribuyendo a la rentabilidad del proceso.

El uso de biodiesel presenta importantes ventajas frente a otros combustibles derivados del petróleo, su índice de cetano es más alto que el del diesel de petróleo, no contiene azufre, reduce las emanaciones de CO<sub>2</sub>, CO, partículas e hidrocarburos aromáticos, en caso de accidente los vertidos son menos contaminantes que los de combustibles fósiles, es biodegradable y su transporte y almacenamiento resulta más seguro que el de los petroderivados ya que posee un punto de ignición más elevado.

Además de conceptos relacionados con el medioambiente y el desarrollo sostenible, en la práctica de laboratorio que se propone se integran conceptos de otras disciplinas:

- a) Se trata de una reacción orgánica de **transesterificación** como se muestra en la Figura 2. En esta reacción se establece un **equilibrio químico** que no está necesariamente desplazado hacia los productos, pero se da la circunstancia de que los productos: glicerina (o glicerol) y biodiesel (o éster metílico), son inmiscibles, lo que propicia que se separen de forma espontánea forzando a que la reacción continúe desplazándose hacia la síntesis de productos. Este proceso no requiere aporte de energía lo cual es importante al hacer el balance global del proceso.

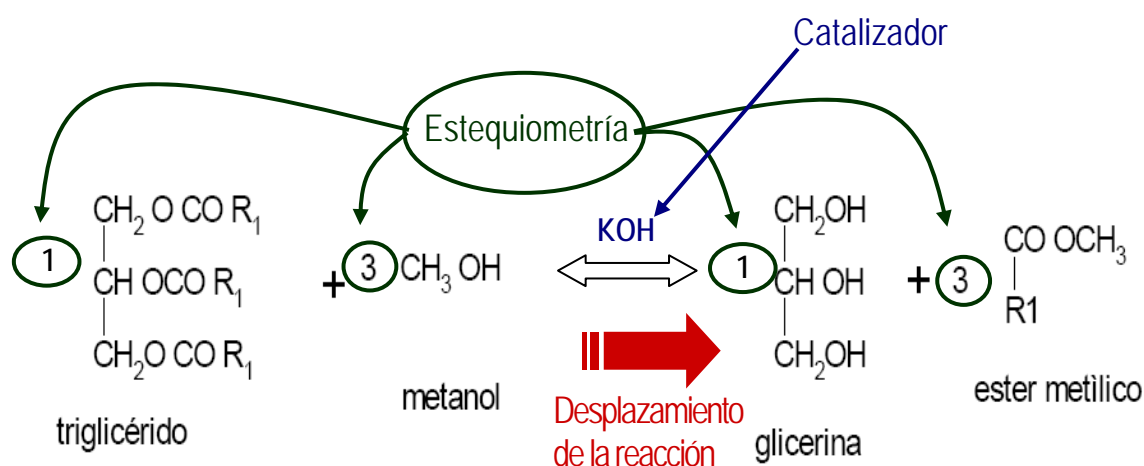


Figura 2: reacción de transesterificación de triglicéridos con metanol

- b) También se muestra en la Figura 2 la **estequiometría** de la reacción, que es necesario respetar para que la reacción ocurra en el sentido que se desea.
- c) El uso de hidróxido potásico como **catalizador** para acelerar la reacción es imprescindible para conseguir un rendimiento eficaz del proceso.

- d) La práctica se realiza con **aceite de girasol** comercial y también con **aceite usado** u **otras grasas** que los alumnos traen de su casa; de esta manera cada equipo de trabajo parte de un “reactivo” diferente, con lo que los productos obtenidos serán de características distintas, esto da mucho juego a la hora de la puesta en común de los resultados obtenidos por cada equipo de trabajo.
- e) Depende el nivel y la titulación de alumnos a los que vaya dirigida, la práctica se puede complementar con un estudio económico y de balance energético, en este caso es importante considerar el uso industrial que se puede dar a la glicerina, en industria farmacéutica, cosmética o incluso como fuente de carbono en la síntesis de polímeros.

Para que transcurra la reacción se ponen en contacto los reactivos triglicéridos y metanol, con el catalizador, se mezclan a 40°C durante 20 minutos, y se deja en reposo 24 horas, en ese tiempo los productos se separan. Los alumnos en el laboratorio realizan esto utilizando un embudo de decantación como se muestra en la Figura 3.

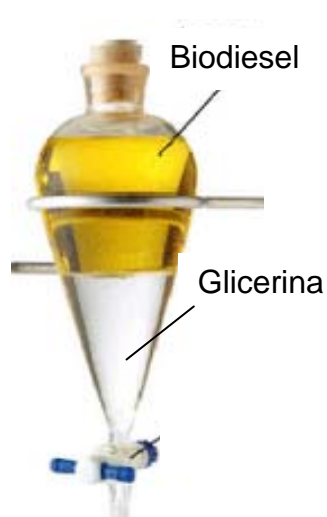


Figura 3: Glicerina y biodiesel separados en un embudo de decantación

Se presenta así un trabajo práctico, de laboratorio, en el que se conjugan conocimientos y contenidos de diferentes áreas: tecnología química, medioambiente, etc.; dirigidos a cubrir diferentes objetivos: eliminar residuos, producir biodiesel, producir glicerina, no incrementar las emisiones de CO<sub>2</sub>, etc. Así, la práctica ofrece a alumnos y profesores diferentes instrumentos de enseñanza-aprendizaje con diversos contenidos transversales.

Esta práctica se realiza desde el curso 2003-2004 en la asignatura de “Química de Combustibles” impartida en la titulación de Ingeniero Técnico de Minas, Recursos Energéticos y Explosivos en la Universidad Politécnica de Cartagena. Se organizan grupos de 10 alumnos distribuidos en equipos de trabajo de 2 alumnos y se intenta que cada grupo utilice una fuente de triglicéridos diferente, para comparar posibles variaciones en los productos finales obtenidos. Una vez concluida la práctica hacen un informe por equipo de trabajo y una puesta en común global para decidir cuales han sido los mejores resultados.

## **1. INNOVANDO EN LA ACTIVIDAD DOCENTE: LA PRÁCTICA DE LABORATORIO**

Las prácticas de laboratorio ofrecen al profesor y al alumno una gran variedad de opciones para realizar un proceso de enseñanza-aprendizaje completo. A diferencia de lo que es habitual en las prácticas de laboratorio en las que se suele dedicar una sesión a una o más prácticas, la experiencia que aquí se propone implica trabajar en varias sesiones sucesivas en la misma práctica, en la primera sesión se mezclan los reactivos poniendo condiciones para que ocurra la reacción (40°C), se da el tiempo necesario para que esta transcurra (24h), posteriormente se separan los productos, se caracterizan, cada equipo de trabajo elabora un informe con los resultados obtenidos y se presenta al resto del grupo. Para ello se necesitan 3 o cuatro sesiones de 2 o 3 horas. Así, la innovación en esta práctica de laboratorio se centra no solo en el objeto de la práctica, que aplica nuevas tecnologías a la resolución de problemas actuales, sino también en la forma de impartirla y desarrollarla, se fomenta el empleo de técnicas cooperativas y de nuevas estrategias evaluativas.

En la presente práctica se propone un nuevo enfoque del aula laboratorio en el que el alumno interviene en el montaje y puesta en funcionamiento de la práctica, se motiva y se implica en su aprendizaje participando de forma activa. Además el hecho de tener que hacer el seguimiento del desarrollo de la práctica durante al menos dos días, lo hace responsable del control del proceso durante un tiempo largo, a la vez que lo obliga a resolver los posibles problemas o imprevistos que puedan surgir durante la operación. Así, el profesor queda con una labor de tutor, colaborando con las necesidades de los alumnos, y como supervisor del correcto uso y funcionamiento del laboratorio, así como de la seguridad del mismo. Los alumnos aprenden a trabajar en equipo de forma colaborativa, incentivando el aprendizaje entre iguales y la responsabilidad. Finalmente, deben recopilar los datos, presentarlos correctamente y sacar conclusiones de los resultados obtenidos de forma conjunta, lo que les exige una labor de coordinación, y puesta en común de los resultados, como actividad final de la práctica realizada.

Este enfoque implica que las prácticas planteadas deben ser sencillas y realizables, motivadoras, que abordan temas transversales, y cumplan con todas las condiciones de seguridad necesarias.

## **2. ENSEÑANDO TECNOLOGÍAS: BIODIESEL A PARTIR DE ACEITES USADOS**

### **2.1. Actividades previas de motivación**

El profesor planteará en el aula la práctica que se propone, que en este caso se centra en la necesidad de buscar combustibles alternativos a los derivados del petróleo. Por otra parte, e íntimamente ligado a estas actividades aparece el problema de los residuos grasos que aún siendo biodegradables, son difíciles de eliminar. La utilización de aceites o grasas residuales para obtener biocombustibles contribuye al desarrollo sostenible y a la preservación del medio ambiente, temas con los que los alumnos se suelen sentir muy sensibilizados e identificados.

## 2.2. Objeto de la práctica

La práctica cubre varios objetivos:

En primer lugar da a conocer la importancia del uso de biocombustibles para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, y la integración de los mismos en el ciclo del carbono (Figura 1).

En segundo lugar acerca al alumno al funcionamiento de una reacción química concreta destinada a la obtención de un producto de utilidad, y a cómo se puede acelerar la velocidad de reacción mediante el uso de un catalizador.

En tercer lugar, aproxima de forma muy práctica a la necesidad de separar y purificar compuestos obtenidos en un sistema de reacción, que finalmente tienen que analizar y caracterizar.

Por otro lado exige a los alumnos el seguimiento de un proceso químico donde tienen que solventar los pequeños problemas que puedan surgir, esto contribuye al trabajo en equipo y el reparto de responsabilidades.

Para finalizar tienen que presentar y contrastar los resultados obtenidos y presentarlos correctamente. Deben elaborar un informe por equipos de trabajo que refleje los resultados y conclusiones obtenidos, y otro informa conjunto de todos los equipos en el que seleccionan la mejor fuente de triglicéridos para la elaboración de biodiesel; lo que les exige hacer una puesta en común, discusión y elección de un proceso.

**Respecto a los objetivos que el alumno debe alcanzar, ha de ser capaz de:**

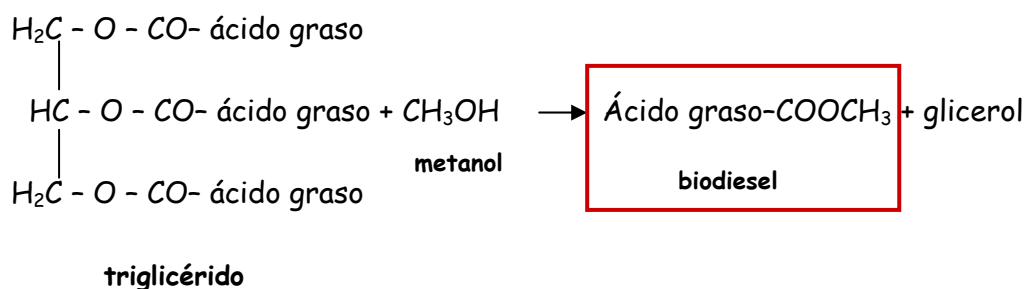
1. Buscar la información necesaria para la elaboración de biodiesel en el laboratorio (según el nivel de los alumnos a los que vaya dirigida la práctica, esta información puede ser suministrada por el profesor)
2. Esquematizar las distintas etapas de que consta el proceso de producción de biodiesel.
3. Describir el proceso de transesterificación entre glicerol y metanol, indicando el papel del catalizador en el mismo.
4. Planificar y realizar un ensayo de producción de biodiesel en el laboratorio.
5. Separar y caracterizar los productos obtenidos.
6. Recoger los resultados obtenidos en un informe y contrastarlos con los obtenidos por otros equipos de trabajo.
7. Adquirir habilidades en la manipulación de aparatos y reactivos en el laboratorio.
8. Desarrollar el trabajo en equipo, puesta en común y obtención de conclusiones.

### 2.3. Fundamentos

El biodiesel es un gasóleo que se obtiene por la transesterificación de triglicéridos procedentes de aceites vegetales y/o grasas animales. El producto obtenido es muy similar al gasóleo obtenido del petróleo y puede usarse como sustituto del mismo en los motores de ciclo diesel, aunque algunos motores requieren modificaciones.

El proceso de transesterificación consiste en combinar el aceite con un alcohol ligero, normalmente metanol o etanol, se produce una sustitución de alcohol en los ésteres que forman los ácidos grasos con el glicerol. El proceso deja como residuo de valor añadido glicerol o glicerina que puede ser aprovechada por la industria cosmética, entre otras.

La fuente de aceite vegetal suele ser aceite de colza o girasol. También se pueden utilizar aceites usados (por ejemplo, aceites de fritura) y sebos o grasas animales procedentes de los excedentes de industrias cárnicas, en cuyo caso la materia prima es muy barata y, además, se reciclan lo que en otro caso serían residuos difíciles de eliminar.



El biodiesel produce una cantidad de energía similar al diesel de petróleo pero es un combustible más limpio que el diesel regular y puede ser utilizado por cualquier tipo de vehículo diesel (vehículos de transporte, embarcaciones, naves turísticas y lanchas), solo o en disolución con aditivos para mejorar la lubricidad del motor. Además tiene mayor índice de cetano que el diesel de petróleo. Actualmente en varios países el biodiesel es utilizado en mezclas con porcentajes diversos.

La principal ventaja del biodiésel es que sus emisiones de CO<sub>2</sub> no incrementan la tasa global de este gas en la atmósfera, ya que las plantas absorben el CO<sub>2</sub> atmosférico para crecer y producir entre otros los aceites vegetales, al quemarse se emite la misma cantidad de CO<sub>2</sub> que anteriormente habían absorbido las plantas (Figura 1). En realidad la cuenta no es tan sencilla, pues el metanol que se emplea en su fabricación se suele obtener del petróleo, por lo que el balance de CO<sub>2</sub> no es nulo. Se podría obtener metanol de la madera, pero resulta más costoso.

Otras ventajas del uso de biodiesel son:

- No contiene azufre y, por ende, no genera emanaciones de este elemento, las cuales son responsables de las lluvias ácidas.
- Mejor combustión, que reduce el humo visible en el arranque en un 30%.

- Reduce las emanaciones de CO<sub>2</sub>, CO, partículas e hidrocarburos aromáticos.
- Los derrames de este combustible en las aguas de ríos y mares resultan menos contaminantes y letales para la flora y fauna marina que los combustibles fósiles.
- Volcados al medio ambiente se degradan más rápidamente que los petrocombustibles.
- Su combustión genera menos elementos nocivos que los combustibles tradicionales.
- Es menos irritante para la piel humana.
- Actúa como lubricante de los motores prolongando su vida útil.
- Su transporte y almacenamiento resulta más seguro que el de los petroderivados ya que posee un punto de ignición más elevado.

## **Estándares y regulación**

En España el biodiesel aparece regulado en el Real Decreto 1088/2010, de 3 de septiembre, que modifica el Real Decreto 61/2006, de 31 de enero, en lo relativo a las especificaciones técnicas de gasolinas, gasóleos, utilización de biocarburantes y contenido de azufre de los combustibles.

La calidad del biodiesel se determina según las siguientes propiedades:

- El calor calorífico: es una medida de la energía disponible en el combustible.
- La viscosidad: es importante ya que afecta el flujo del combustible en las tuberías y el inyector.
- La densidad.
- Punto de nube: es la temperatura a la cual el biodiesel forma una nube cuando es enfriado, es una medida del punto de congelación.
- El “flash point”: es una medida de la volatilidad del combustible
- El número de cetano: es una medida de la calidad de ignición del combustible.

## **2.4. Actividades previas: preparación del material**

### **Material**

- Matraz erlenmeyer de 500ml.
- Espátula o cucharilla
- Granatario
- Probeta de 250ml
- Probeta de 100ml
- Probeta de 10ml
- Placa calefactora
- Vaso de precipitado de 500ml
- 2 vasos de precipitados de 250ml
- 1 vaso de 100ml
- Varilla de vidrio, larga
- Embudo de decantación de 500ml
- Soporte y pinza para el embudo
- Jeringuilla de 100ml para el viscosímetro
- Baño
- Viscosímetros Cannon-Frenske de 100 y 200

## Reactivos

- Metanol 100ml.
- Aceite 250ml.
- NaOH 1g.

## 2.5. Instrucciones del profesor a los alumnos: Organización del trabajo en grupo

El profesor da la información de cómo se debe desarrollar la práctica y pone a disposición de los alumnos todos los materiales que necesitan, instruye sobre las condiciones de seguridad que se deben mantener en el laboratorio.

Los alumnos se distribuyen en equipos de trabajo de dos en dos. Se enseña a utilizar la libreta de laboratorio, que será propia de cada equipo de trabajo y es la clave en cualquier trabajo o investigación, pues en ella se anotarán todos los resultados y observaciones que se obtengan a lo largo de la práctica. Cada grupo deberá seguir el protocolo de la práctica consultando con el profesor las dudas que puedan surgir.

## 2.6. Realización de la práctica

### Preparación de sosa en metanol

Disolver 1g de sosa en 100ml de metanol, con mucha precaución, la sosa es muy corrosiva, desprende calor y vapor al disolverse, disolver en un matraz erlenmeyer de 500ml tapado con algodón graso. Agitar con cuidado haciendo girar el matraz.

### Producción de biodiesel

Calentar 250ml de aceite a 40°C en un vaso de precipitado sobre una placa calefactora. Añadir lentamente y con mucho cuidado la sosa en metanol agitando con una varilla de vidrio. Agitar durante 10 minutos.

Trasvasar todo el contenido del vaso al embudo de decantación y dejar reposar a temperatura ambiente durante 24 h. Se separan dos fases con una interfase, glicerol abajo y biodiesel arriba.

### Recuperación de los productos obtenidos

Abrir la llave del embudo de decantación y recoger el glicerol de la fase inferior en uno de los vasos de 250ml, la interfase en el vaso de 100ml y el biodiesel de la fase superior en el segundo vaso de 250ml.

### Análisis de los productos obtenidos

- **Determinar los volúmenes** de los productos obtenidos incluyendo la interfase.
- **Determinar la viscosidad** a las dos fases obtenidas, glicerol y biodiesel, y del aceite de partida. Para ello se utilizarán los viscosímetros de 100 para el biodiesel y de 200 para el aceite y el glicerol.

La viscosidad se determina según la siguiente fórmula:



**Viscosidad (cps) = Tiempo de caída (s) x densidad (g/ml) x cte del viscosímetro**

- **Determinar la densidad** del aceite y de las dos fases obtenidas, glicerol y biodiesel; utilizando la probeta de 10ml, se determina el peso y volumen de una muestra de volumen inferior a 10ml.

Comparar los datos de viscosidad obtenidos y sacar conclusiones teniendo en cuenta los datos de la Tabla 1.

Tabla 1: Características Biodiesel, gasoil y aceite de girasol

PROPIEDADES	BIODIESEL	GASOLEO	ACEITE GIRASOL
Densidad(15°C)(kg/l)	0.89	0.84	0.92
Viscosidad a 40°C (cst)	4.2	3.2	35
Punto de Ignición	183	63	215
Nº de Cetano	47-51	45-50	33
POFF (°C)	0/-15	-20	10/20
Calor Combustión (mj/kg)	40	44	39.5
Residuo Carbón (% peso)	0.05	0.2	0.42
Azufre (% peso)	0	0.3	0

## 2.7. Discusión y exposición en el aula clase de los resultados

Una vez que todos los equipos de trabajo han concluido su experiencia en la realización de la práctica será el momento en el que los alumnos tengan que poner en común los resultados obtenidos. Para ello se deja un tiempo para que realicen cálculos y elaboren un informe para hacer la presentación de los resultados obtenido.

En la sesión de presentación cada responsable de equipo explicará los resultados más relevantes que se han obtenido de la práctica, incluyendo comentarios y discusión de los mismos. Se establece un debate en el que se comparan los resultados de un equipo con los de otro.

Se concluye con la elaboración de un informe conjunto en el que indique el desarrollo del proceso y la fuente de triglicéridos más apropiada para la obtención de biodiesel. También

se puede plantear alguna posibilidad de mejora en el desarrollo del experimento y/o manejo de aparatos. Finaliza esta sesión comentando lo que han aprendido.

## 2.8. Evaluación

En la sesión de presentación de resultados el profesor entregará un cuestionario de evaluación para que sean los propios alumnos los que califiquen el trabajo realizado por sus compañeros.

El profesor evaluará a los alumnos de forma global, según el informe final presentado, y también de modo individual, según su grado de participación e implicación en el desarrollo de la práctica. La evaluación de los alumnos, junto con la propia evaluación del profesor, servirán como elementos de calificación.

## 3. REFERENCIAS

- [1] Akers, M.S. et al, “*Determination of the Heat of Combustion of Biodiesel Using Bomb Calorimetry*”, Journal of Chemical Education, Vol. 83, No 2, February 2006.
- [2] “Biodiesel production”, Fuel Fact Sheets - National Biodiesel Board,  
[http://www.biodiesel.org/pdf\\_files/fuelfactsheets](http://www.biodiesel.org/pdf_files/fuelfactsheets)
- [3] Biodiesel – Handling and use guidelines, Third Edition, September 2006, US Department of Energy.