

# Química Verde: trabajo de laboratorio en la Microescala

O. Cornejo Navarro, I. Martínez Mira, E. Vilaplana Ortego, A. Sepúlveda Escribano,  
J.M. Molina Jordá

*Departamento de Química Inorgánica  
Universidad de Alicante*

## **RESUMEN (ABSTRACT)**

Actualmente, los estudiantes de cualquier ámbito, y en especial en la Educación Superior, deben tender a formarse en las diferentes disciplinas dentro del marco de un aprendizaje integral que contemple amplios criterios de responsabilidad ética, cívica y medioambiental. Desde esta perspectiva, el profesorado debe comprometerse a ofrecer los recursos necesarios y la información adecuada para una plena concienciación del estudiante en temas de materia medioambiental para un desarrollo sostenible. Ambas facetas se contemplan en los estudios conducentes a la obtención del Grado en Química de la Universidad de Alicante mediante la impartición de diferentes asignaturas tanto obligatorias como optativas. El objetivo del presente trabajo es aumentar las posibilidades de concienciación de los estudiantes en estas materias por medio de la realización de prácticas instrumentales en el Grado en Química bajo los criterios de “Química Verde” y “Trabajo en la Microescala”. Como ejemplo se muestra la adaptación de una práctica convencional, elegida entre las que cumplen los requisitos de la Química Verde, para su realización a microescala. Esta adaptación, además de cumplir con los fines formativos ya mencionados, disminuye los costes económicos asociados tanto al consumo de reactivos como a la generación de residuos.

**Palabras clave:** Química verde, microescala, desarrollo sostenible, medio ambiente, prácticas de química.

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Problema/cuestión.

Los estudiantes de cualquier ámbito, y en especial los universitarios, deben formarse en las diferentes disciplinas del conocimiento dentro del marco de aprendizaje integral que contempla el Espacio Europeo de Educación Superior. Este contexto contempla la formación del individuo en amplios criterios de responsabilidad ética, cívica y medioambiental. Es por ello que el profesorado debe comprometerse a ofrecer los recursos necesarios y la información adecuada para una plena concienciación del estudiante en temas de materia medioambiental para un desarrollo sostenible.

En el ámbito de la Química, y con el objetivo de ayudar a lograr esta meta, surgen los conceptos de Química Verde y Trabajo en la Microescala. La finalidad del presente trabajo es aumentar las posibilidades de concienciación de los estudiantes en estas materias por medio de la realización de prácticas instrumentales en el Grado en Química bajo los criterios de “Química Verde” y “Trabajo en la Microescala”. Como ejemplo se muestra la adaptación de una práctica convencional, elegida entre las que cumplen los requisitos de la Química Verde, para su realización en la microescala. Esta adaptación, además de cumplir con los fines formativos ya mencionados, disminuye los costes económicos asociados tanto al consumo de reactivos como a la generación de residuos.

### 1.2 Revisión de la literatura.

El concepto de sostenibilidad (Informe Brundtland, 1987) debe ser considerado necesariamente de manera explícita por todas las instituciones educativas que pretendan una conexión saludable con la sociedad.

En España, la Ley 2/2011, de 4 de marzo, de Economía Sostenible (LES) consiste en un conjunto de medidas que inciden directamente sobre la economía española en tres sectores: financiero, empresarial y medioambiental. Esta Ley incluye una definición del papel de las universidades en materia de sostenibilidad ambiental, social y económica. A este respecto, las Universidades españolas han adaptado en forma de competencias específicas las responsabilidades pertinentes en esta materia en los distintos estudios de Grado y Máster. Algunas Universidades han mostrado un gran compromiso al respecto al incluir en sus competencias transversales criterios de sostenibilidad. Así, por ejemplo, la *Universitat de Girona* (*Universitat de Girona – Guía Competencias Transversales: sostenibilidad, 2010*) tiene definida como competencia

transversal “evaluar la sostenibilidad de las propuestas y actuaciones propias”, en el marco de un compromiso explícito con la sostenibilidad, tanto de la misma institución en su conjunto como de cada uno de los integrantes de la comunidad universitaria. De este modo, cualquiera de las propuestas de intervención profesional o de investigación tiene que considerar la sostenibilidad como marco de referencia conceptual. La *Universidad de Alicante* no ha incorporado el concepto de sostenibilidad en su currículum transversal pero, sin embargo, hace mención explícita a ello en las diversas competencias generales y específicas de diferentes títulos de Grado y Máster. En el Grado en Química, por ejemplo, la Universidad de Alicante (Universidad de Alicante, 2014) especifica claramente entre sus objetivos generales lo siguiente:

*“El objetivo fundamental del Título es formar profesionales de perfil científico tecnológico, con un conocimiento global en las áreas relacionadas con la Química que les capacite para su integración en el mercado laboral y/o la continuación de su formación en estudios de Máster. Todo ello con el fin último de contribuir, junto con otros profesionales, a lograr el máximo aprovechamiento de los recursos naturales, la mínima generación de contaminantes y la valorización y gestión de los residuos industriales impulsando, a su vez, el compromiso ético de los futuros profesionales con los derechos humanos y la sostenibilidad del medio ambiente.”*

La idea de la sostenibilidad surge del hecho de que los recursos naturales de la Tierra son limitados, y de que nuestra actuación puede comprometer la viabilidad del planeta y de la propia vida. El funcionamiento de la sociedad actual, sobre todo en base a los ritmos de crecimiento poblacional y, por ende, de demanda de recursos, pueden poner en peligro la supervivencia del planeta a medio y largo plazo. Así pues, la sostenibilidad integra una serie de aspectos de gran complejidad de tipo social, económico y ecológico que afectan directamente a: i) las personas, que deben convivir con igualdad de derechos y deberes; ii) las economías, que deben perseguir la justa distribución de riquezas y la optimización del uso de recursos; y iii) la biodiversidad, para que ésta sea respetada. En general, debe encontrarse el equilibrio entre el desarrollo humano y la dinámica de los ciclos naturales. La mayoría, por ejemplo, de los impactos ambientales mundiales (como los que a continuación se citan) se atribuyen a la excesiva tasa de crecimiento poblacional, que suele ir unida al desarrollo de nuevos procesos o productos químicos (Hjeresen, Schutt y Boese, 2000):

- Pérdida de especies biológicas en los bosques y mares.
- Disminución de la capa de ozono.

- Pérdida de suelos por prácticas agrícolas no sostenibles.
- Contaminación de los mares, con la consiguiente disminución de recursos alimentarios.
- Persistente introducción de contaminantes orgánicos en el ecosistema.
- Cambio climático, que causa alteraciones impredecibles en el ciclo hidrológico, como cambio en el nivel del mar, inundaciones, sequías y la propagación de enfermedades infecciosas.

El concepto de educación para la sostenibilidad implica una visión integral del mundo, que abarca las dimensiones ecológica, social y económica en un abanico de conocimientos y competencias que van más allá de la parcelación del saber, y que deben desembocar en el desarrollo de una nueva ética que oriente a nuevos horizontes la capacidad humana de actuar.

Como una alternativa para promover y ayudar, tanto en la educación como en la investigación y divulgación, políticas ambientales que demuestren los aspectos más positivos de la Química, se creó en Estados Unidos, en 1997, el Green Chemistry Institute (Instituto de Química Verde). La Química Verde es el diseño de productos y procesos químicos que reducen o eliminan el uso y la generación de sustancias peligrosas y residuos. Esta metodología, además de proponer la innovación en la química con beneficios económicos y ambientales, fomenta la interdisciplinariedad, ya que incorpora aspectos de ingeniería, biología, economía y ética. La Química Verde es un reto a "hacer química" de una manera responsable con el ambiente, aplicando los criterios de sostenibilidad. Los doce principios de la Química Verde fueron propuestos por Anastas y Warner en 1998 (Anastas & Wagner, 1998), y sirven de guía para el desarrollo de más productos y procesos amigables con el ambiente. Concretamente, estos principios son:

- (i) **Prevención.** Es preferible evitar la formación de un residuo que tratar de limpiarlo una vez que se haya formado.
- (ii) **Economía atómica.** Los métodos de síntesis deberán diseñarse de manera que incorporen al máximo, en el producto final, todas las materias usadas en el proceso.
- (iii) **Uso de tecnologías que generen productos de baja toxicidad.** Siempre que sea posible, se deben diseñar métodos de síntesis que usen y generen sustancias con poca o ninguna toxicidad, tanto para los seres humanos como para el medio ambiente.

- (iv) **Generación de productos químicos eficaces pero seguros.** Los productos químicos deberán ser diseñados de manera que efectúen su función con una toxicidad mínima.
- (v) **Disminución del uso de sustancias auxiliares.** Se evitará, en lo posible, el uso de sustancias que no sean imprescindibles ( (disolventes, agentes de separación, etc.), y en el caso de que se utilicen, que sean lo más inocuas posible.
- (vi) **Disminución del consumo energético.** Los requerimientos energéticos de los procesos químicos serán catalogados tanto por su impacto económico como medioambiental, y deben ser minimizados. Si es posible, los métodos de síntesis deben llevarse a cabo en condiciones de presión y temperatura ambiente.
- (vii) **Utilización de materias primas renovables.** Deben usarse materias primas renovables, siempre que sea posible desde el punto de vista técnico y económico.
- (viii) **Reducir derivados.** La derivación innecesaria (uso de grupos de bloqueo, protección/desprotección, y modificación temporal de procesos físicos/químicos) debe ser minimizada o evitada cuando sea posible, dado que dichas etapas requieren agentes adicionales y pueden generar residuos.
- (ix) **Catálisis.** Se emplearán catalizadores (tan selectivos como sea posible) en lugar de reactivos estequiométricos.
- (x) **Generación de productos biodegradables.** Los productos químicos han de ser diseñados de manera que, al final de su función, se desconpongan en productos inocuos y no persistan en el medio ambiente.
- (xi) **Análisis en tiempo real para la prevención de la contaminación.** Se deben desarrollar metodologías analíticas que permitan la monitorización y el control a tiempo real del proceso, previo a la formación de sustancias peligrosas.
- (xii) **Minimización del potencial de accidentes químicos.** Las sustancias y las formas de utilizarlas en un proceso químico, deben ser elegidas de manera que resulte mínima la posibilidad de que se produzcan accidentes.

Actualmente se ha implantado una práctica, la del trabajo en la microescala, englobada dentro de las de Química Verde, encaminada a aplicar los criterios de la Química Verde en los laboratorios docentes y de investigación. La microescala en química es una técnica que se basa en el respeto al medio ambiente, en la prevención de la contaminación acompañada por el uso de material de vidrio pequeño y la significativa reducción de reactivos y, por consiguiente, de desechos. Es importante destacar que la

microescala se ha implementado sin comprometer los estándares en educación ni el rigor analítico, y sus técnicas son "amigables" con las aplicaciones industriales (Bishop, C.B., Bishop, M.B. & Whitten, K.W. (2004); Thomson-Ibañez, J.G., Hernandez-Esparza, M. (2008); Szafran, Z., Pike, R.M. & Foster, J.C. (1993); Szafran, Z., Pike, R.M. & Foster, J.C. (2003)).

### 1.3 Propósito.

En este trabajo se muestra la adaptación de una práctica convencional, elegida entre las que cumplen los requisitos de la Química Verde, para su realización en la microescala. Con esta adaptación se persiguen varios objetivos: i) concienciación de los estudiantes en materia de sostenibilidad por medio de la realización de prácticas instrumentales en el Grado en Química bajo los criterios de “Química Verde” y “Trabajo en la Microescala”, ii) disminuir los costes económicos asociados al consumo de reactivos, y iii) disminuir la generación de residuos.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Descripción del contexto y de los participantes

Los autores de este trabajo son todos miembros del Departamento de Química Inorgánica de la Universidad de Alicante. O. Cornejo, I. Martínez y E. Vilaplana son técnicos de laboratorio del colectivo de Personal y Administración de Servicios. A. Sepúlveda es Catedrático de Universidad y J.M. Molina forma parte del colectivo de investigadores Ramón y Cajal. Todos ellos han visto la necesidad de la adaptación que aquí se propone para fomentar en los departamentos de Ciencias la iniciación de una nueva manera de concebir las prácticas de laboratorio, más acorde con los criterios de sostenibilidad previamente comentados.

Esta práctica piloto fue probada con alumnos de cuarto curso del Grado en Química, dentro de la asignatura Optativa “Química Verde”. Los contenidos que se imparten en esta asignatura tienen como objetivo final introducir a los alumnos en los conceptos que conducen al diseño de procesos y productos químicos que reduzcan o eliminen el uso y la generación de sustancias peligrosas, y utilicen preferentemente recursos renovables. Para ello, en la asignatura se presentan inicialmente todos aquellos aspectos relacionados con los residuos provenientes de la industria química para, a continuación, analizar las diferentes vías de que se dispone para minimizarlos, tales como la búsqueda de nuevos procesos químicos, con la utilización de catalizadores, el

uso de disolventes no contaminantes y de recursos renovables, así como la aplicación en la industria química de tecnologías y procesos que no ocasionen, directa o indirectamente, problemas medioambientales. La práctica ha sido probada en dos etapas. En primer lugar, los alumnos de la asignatura Química Verde la realizaron con las cantidades indicadas en el guión original: 100 ml. de aceite usado y 20 ml de metanol. En segundo lugar, los autores del trabajo realizaron la práctica con diferentes cantidades de reactivo, todas ellas menores, para determinar hasta dónde se puede llegar en la microescala sin limitar los objetivos de la práctica.

## 2.2. Materiales

Los materiales que deben utilizarse en la adaptación de una práctica de Química Verde a la microescala suelen ser similares a los convencionales utilizados en una práctica normal, sólo que aquellos que están relacionados con la contención de un determinado volumen o peso de sustancias químicas han de elegirse de manera que estén adaptados a las cantidades reducidas con las que ahora se trabaja.

El material que se ha utilizado en esta práctica ha sido el siguiente: 1 mortero de vidrio pequeño, 2 vasos de precipitados de 25 ml, 1 embudo de decantación 50 ml, 1 pipeta de 2 ml, 1 pipeta de 10 ml, 1 propipeta, pinzas de teflón, 1 espátula de plástico o de acero recubierta de teflón, 1 imán (que sirve para la agitación del matraz de reacción), 1 matraz Erlenmeyer de 25 ml, 1 cronómetro, 2 soportes metálicos, 1 aro con nuez y pinza.

## 2.3. Instrumentos

El instrumental necesario para poner en marcha la práctica (entendiéndose por éste el conjunto de los diferentes equipos de laboratorio que puedan utilizarse) es el habitual que se utiliza en un laboratorio convencional. En el caso de la presente práctica se ha utilizado: i) una balanza (de las convencionales, con una precisión de  $\pm 0,01$  g); ii) placa calefactora-agitadora con termómetro de contacto que permite un control de temperatura en  $\pm 1^\circ\text{C}$ ; iii) dispositivo elevador con tornillo regulador; y iv) equipo de infrarrojo para la identificación del producto de la práctica y de posibles contaminantes presentes.

Figura 1. Imagen de la placa-calefactora y del dispositivo elevador utilizados en la práctica.



#### 2.4. Procedimientos

Los procedimientos de actuación en laboratorio son los habituales en una práctica convencional. Si bien se trabaja con volúmenes y cantidades de reactivos y productos mucho más pequeños, esto no parece entrañar dificultad alguna en los estudiantes.

### 3. RESULTADOS

A continuación se muestra el guión elaborado para la práctica de Química Verde (sección 3.1) y una adaptación de este guión en el contexto del Trabajo en la Microescala (sección 3.2).

#### 3.1. Guión para práctica de Química Verde

El guión que a continuación se muestra ha sido el elaborado para la práctica de Química Verde que lleva por título “Reacción de trans-esterificación – Síntesis de bio-diésel”. En esta práctica se plantea una ruta de síntesis para la elaboración del combustible bio-diésel a partir de productos de partida de escaso valor comercial: metanol y aceite vegetal reutilizado (que puede provenir de restos reciclados de aceites utilizados en cocina).

#### **Guión de prácticas Química Verde**

### **REACCIÓN DE TRANS-ESTERIFICACIÓN**

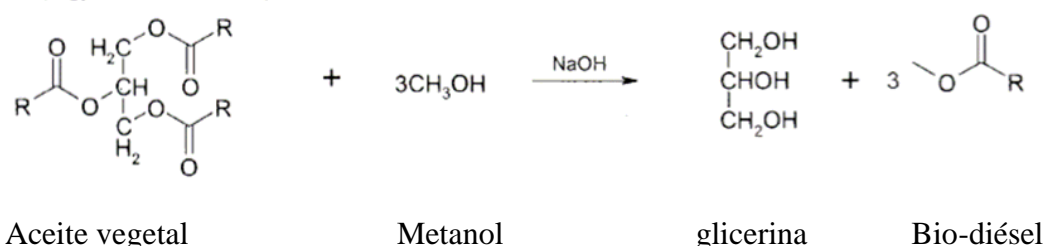
#### **Síntesis de bio-diésel**



### Introducción:

El experimento se centra en la síntesis de combustible diésel a partir de un aceite vegetal. El mecanismo es una reacción de trans-esterificación, un proceso por el que se un tipo de éster se transforma en otro.

### Reacción verde:



### Productos químicos:

- Aceite vegetal (100 ml)
- Metanol (20 ml)
- Hidróxido sódico (3 lentejas)

### Procedimiento verde:

Se moltura el hidróxido sódico y se añade a un Erlenmeyer de 250 ml que contiene 20 ml de metanol (> 99% de pureza), y se agita vigorosamente hasta que se disuelva. Se calienta el aceite vegetal (200 ml) hasta unos 40 °C en un vaso de precipitados de 250 ml. Se añade a la disolución metanólica de hidróxido sódico, sin dejar de agitar. Al principio, la mezcla aparece turbia, pero pronto se aprecia que se separan dos capas. Se sigue agitando durante 20 min. El contenido del Erlenmeyer se pasa a un embudo de decantación de 250 ml, para separar la mezcla en dos fases. El glicerol se va al fondo, y el éster metílico (bio-diésel) flota sobre él. Dejar en el embudo durante 1 hora. Separar las dos fases en dos vasos de precipitados. Pesar las cantidades recogidas.

### Contexto verde:

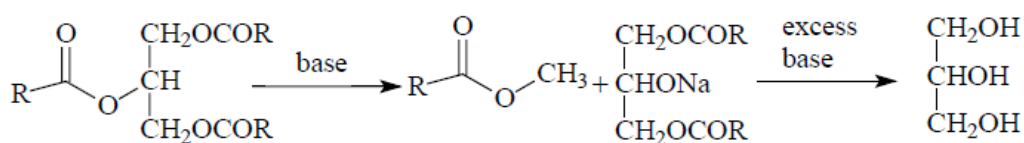
Este experimento muestra tres de los principios de la Química Verde: el uso de materias renovables, la catálisis, y el diseño para la degradación. El aceite vegetal es un material de partida renovable, dado que se obtiene a partir de plantas, en lugar de los

compuestos que se obtienen a partir de petróleo. La reacción está catalizada por NaOH, lo que hace que el proceso sea económicamente viable para la producción de bio-diésel a escala industrial. El bio-diésel es un excelente producto, dado que es respetuoso con el medio ambiente.

#### Seguridad:

- Metanol: Inflamable y venenoso.
- NaOH: muy corrosivo. Causa quemaduras importantes. Puede causar daños oculares permanentes. Muy peligroso por ingestión.

#### Mecanismo:



### 3.2. Adaptación del guión de la práctica a la Microescala

A continuación se muestra la adaptación del guión de la práctica “Reacción de trans-esterificación – Síntesis de bio-diésel” a la Microescala. Sólo se exponen, para evitar repeticiones, aquellos apartados que implican cambios respecto al guión anterior.

#### **Adaptación del guión de prácticas de Química Verde a la Microescala**

### **REACCIÓN DE TRANS-ESTERIFICACIÓN**

#### **Síntesis (en la microescala) de bio-diésel**

Respecto al guión de la práctica anteriormente mostrado se deben sustituir los apartados de “Productos Químicos”, “Procedimiento verde” y “Contexto verde” por los apartados que a continuación se indican.

#### Productos químicos:

- Aceite vegetal (10 ml)
- Metanol (2 ml)
- Hidróxido sódico (0.1 g)

### Procedimiento verde-microescala:

Se moltura el hidróxido sódico y se añade a un Erlenmeyer de 25 ml que contiene 2 ml de metanol (> 99% de pureza), y se agita vigorosamente hasta que se disuelva. Se calienta el aceite vegetal (10 ml) hasta unos 40 °C en un vaso de precipitados de 25 ml. Se añade a la disolución metanólica de hidróxido sódico, sin dejar de agitar. Al principio, la mezcla aparece turbia, pero pronto se aprecia que se separan dos fases. Se sigue agitando durante 20 min. El contenido del Erlenmeyer se pasa a un embudo de decantación de 50 ml, para separar la mezcla en dos fases. El glicerol se va al fondo, y el éster metílico (bio-diésel) flota sobre él. Dejar en el embudo durante 1 hora. Separar las dos fases en dos vasos de precipitados. Pesar las cantidades recogidas.

### Contexto verde-microescala:

Esta práctica posee las características idóneas para que pueda considerarse una práctica de Química Verde y, además, está adaptada a la Microescala. Por un lado, muestra tres de los principios de la Química Verde: el uso de materias renovables, la catálisis, y el diseño para la degradación. El aceite vegetal es un material de partida renovable, dado que se obtiene a partir de plantas, en lugar de los compuestos que se obtienen a partir de petróleo. La reacción está catalizada por NaOH, lo que hace que el proceso sea económicamente viable para la producción de bio-diésel a escala industrial. El bio-diésel es un excelente producto, dado que es respetuoso con el medio ambiente. Por otro lado, las cantidades utilizadas en la práctica están pensadas para una considerable reducción de los reactivos utilizados y de los productos generados, así como también se persigue un ahorro en materiales, ya que algunos pueden adquirirse a menor precio por ser de menor tamaño.

### 3.3. Realización de la práctica de Química Verde adaptada a la Microescala.

En general, la realización de la práctica en la Microescala no presenta ningún problema respecto a la práctica presentada en la sección 3.1. El profesor, quizás para prevenir posibles errores derivados de la falta de habilidad de los estudiantes, deberá advertirles de que deben extremar la cautela en el manejo de material más pequeño de lo habitual. También sería conveniente recordar a los alumnos que extremen su atención en las mediciones de masa y volumen de los reactivos de partida, que por ahora tratarse

de cantidades más pequeñas admiten menos error absoluto respecto a la cantidad indicada en el guión si se persigue conseguir un rendimiento de producto adecuado.

En las siguientes figuras se muestran imágenes del proceso de realización de la práctica.

Figura 2. Imágenes de diferentes etapas de la realización de la práctica: (a) proceso de calentamiento de los reactivos en la placa calefactora; (b) proceso de decantación en embudo de decantación; y (c) detalle del embudo de decantación.



(a)



(b)

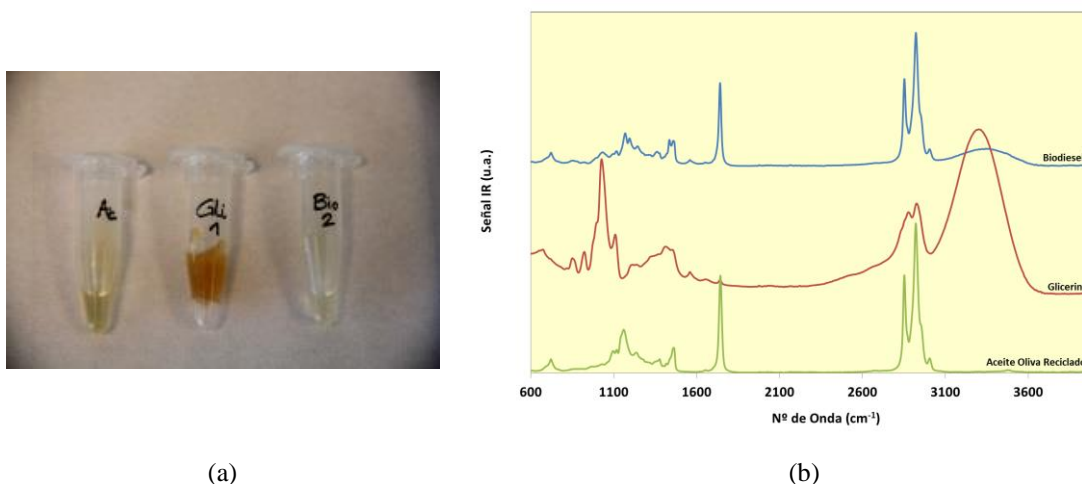


(c)

Tras la realización de la práctica se obtuvieron 5.85 g de Biodiesel por 9.86 g (10 ml) de aceite, lo que supone un rendimiento del 59 %. Dado que partimos de un aceite reutilizado y que desconocemos por completo su composición química, calcular un rendimiento en base a las relaciones molares no es posible, por lo que lo referimos a las cantidades en gramos. Este rendimiento ha resultado ser algo inferior al obtenido con la práctica a escala normal de la sección 3.1, que suele ser del 89 % (77,8 g. de bio-diésel por 88,6 g de aceite). Las diferencias pueden deberse a la mayor dificultad en la separación y manejo de cantidades menores, así como en la menor precisión de las pesadas. Esto pone de manifiesto que si se trabaja adecuadamente el hecho de manejar cantidades menores de reactivos no supone una influencia sustancial en el rendimiento de la práctica, que puede ser ligeramente inferior debido a que las pérdidas de reactivos normales derivadas de su transvase a los diferentes materiales contenedores son porcentualmente más elevadas en la Microescala. Un análisis por técnica de infrarrojos (Figura 3) identifica que el producto deseado (bio-diésel) es bastante puro, aunque es

posible que dependiendo de las condiciones en las que se haya realizado la separación por decantación aparezca contaminado con glicerina, el otro producto de la reacción.

Figura 3. Imágenes de las muestras de aceite vegetal, glicerina y bio-diésel (obtenido en la práctica) preparadas en contenedores Eppendorf (a) su caracterización por Espectroscopía Infrarroja (b).



Los espectros infrarrojos de las muestras han sido realizados utilizando un espectrofotómetro FTIR Bruker IFS/66 acoplado a un accesorio de reflexión total atenuada (ATR) Specac Golden Gate con prisma de diamante. Las muestras se colocaron sobre dicho prisma asegurándose la cobertura total del prisma así como un íntimo contacto con el mismo. La resolución de los experimentos fue de  $4\text{ cm}^{-1}$  y el número de barridos fue de 64.

Las bandas características de vibración molecular de las muestras analizadas se presentan en la Tabla 1 (Infrared and Raman Characteristic Group Frequencies, 2001).

Tabla 1. Relación entre las frecuencias de absorción y las vibraciones características

Frecuencia ( $\text{cm}^{-1}$ )	Vibración
3500-3300	Tensión -OH
3000-2890	Tensión -CH (-CH <sub>2</sub> -, -CH <sub>3</sub> )
1740	Tensión C=O (-COO-C)
1470-1430	Vibración -O-CHx
1150-1200	Vibración -COC-

Comparando los espectros del bio-diésel y del aceite observamos que, como cabía esperar, son espectros muy parecidos, dominados por la presencia de las bandas de tensión -CH<sub>2</sub>- a  $2890\text{ cm}^{-1}$  y la tensión C=O del grupo éster propias de los ácidos

grasos esterificados. Sin embargo, en el caso del bio-diésel podemos observar diferencias en las bandas a  $\sim 1470\text{ cm}^{-1}$  y a  $\sim 1150\text{ cm}^{-1}$  debidas a las vibraciones mencionadas en la Tabla 1. Mientras que en el caso del aceite sendas vibraciones aparecen en frecuencias únicas ( $1462$  y  $1161\text{ cm}^{-1}$ ), en el caso del bio-diésel aparecen como dos dobletes ( $1437/1462$  y  $1168/1195\text{ cm}^{-1}$ ). Esto es debido a que la conversión del aceite a bio-diésel por trans-esterificación ha sido incompleta y todavía quedan restos de aceite mezclados con el bio-diésel. Además, en el espectro del bio-diésel se observa una banda ancha, sobre  $3300\text{ cm}^{-1}$ , característica de la tensión -OH. Esto es indicativo de contaminación por humedad y/o por restos de glicerina que no se hayan separado bien.

#### **4. CONCLUSIONES**

Utilizando los conceptos de la Química Verde y del Trabajo en Microescala, se ha adaptado una práctica de laboratorio (Síntesis de bio-diésel por trans-esterificación), propuesta a los alumnos de 4º curso del Grado de Química, dentro de la asignatura “Química Verde”, para su realización con una cantidad mínima de reactivos. Se ha comprobado la aplicabilidad de dicha aproximación, que permite reducir costes de reactivos y generación de residuos (en este caso, glicerina), sin perjudicar los objetivos docentes de la misma. Además, al trabajar con materiales de laboratorio de menor tamaño y con menores cantidades de reactivos y productos, se fomenta en los alumnos el cuidado y la atención en la manipulación de los materiales y en las operaciones de laboratorio (p. ej., en la separación de los productos). Se han obtenido rendimientos algo menores a los logrados en la práctica realizada con cantidades superiores, lo que puede deberse a la mayor dificultad en la separación del bio-diésel y a la menor precisión en las pesadas.

[Los autores quieren agradecer a Jerónimo Juan Juan, personal de los Servicios Técnicos de la Universidad de Alicante, la realización de los espectros de infrarrojo y sus consejos para el análisis de los mismos].

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Informe Brundtland (1987). Our Common Future: Brundtland Report.  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Informe\\_Brundtland](http://es.wikipedia.org/wiki/Informe_Brundtland).
- Universitat de Girona (2010). Guía para la adaptación al Espacio Europeo de Educación Superior – 10. Competencias transversales: sostenibilidad. Girona. Programa de Apoyo a la Calidad Docente.
- Universidad de Alicante (2014). Folleto informativo sobre el Grado en Química.  
<http://web.ua.es/es/oia/documentos/publicaciones/grados-folletos/grado-quimica.pdf>
- Hjeresen, D. L., Schutt, D. L. & Boese, J. M. (2000). Green chemistry and education. *Journal of Chemical Education*, 77 (12), 1543-1547.
- Anastas, P.T. & Wagner, J.C. (1998). *Green Chemistry: Theory and Practice*. Oxford: Oxford University Press.
- Infrared and Raman Characteristic Group Frequencies* (2001), George Socrates, 3rd Edition, John Wiley & Sons Ltd.
- Bishop, C.B.; Bishop, M.B.; Whitten, K.W.: *Standard and Microscale experiments in general chemistry* (2004), London, Thomson.
- Ibañez, J.G.; Hernandez-Esparza, M.: *Environmental Chemistry. Microscale Laboratory experiments* (2008), Berlin, Springer.
- Szafran, Z; Pike, R.M.; Foster, J.C.: *Microscale General Chemistry Laboratory* (1993), John Wiley & Sons Ltd.
- Szafran, Z; Pike, R.M.; Foster, J.C.: *Microscale General Chemistry Laboratory with selected macroscale experiments* (2003), John Wiley & Sons Ltd.