

Cuantificación de paracetamol en comprimidos por titulación conductimétrica

O. Débora Radovancich, María del C. Sarno* y Mario R. Delfino

INTRODUCCIÓN

El paracetamol o acetaminofeno (N-acetil-para-aminofenol ó para-acetilaminofenol) (Figura 1) es actualmente uno de los analgésicos más utilizados. Es un medicamento con propiedades analgésicas, sin capacidad antiinflamatoria. Actúa inhibiendo la síntesis de prostaglandinas, mediadores celulares responsables de la aparición del dolor [1]. Además, tiene efectos antipiréticos. Se presenta habitualmente en forma de cápsulas, comprimidos o gotas de administración oral.

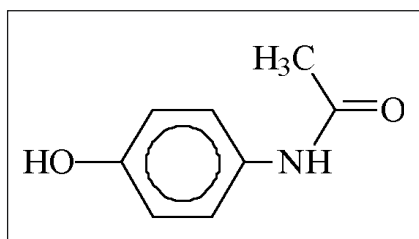


Figura 1. Fórmula del Paracetamol

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura – UNNE.
Av Libertad 5450 – (3400) Corrientes – Argentina-
mcsarno@exa.unne.edu.ar

En la provincia de Corrientes, la Planta de Medicamentos dependiente del Ministerio de Salud (PLAMECOR) elabora comprimidos de 500 mg de paracetamol, los que junto con otras veinte especialidades farmacéuticas incluidas dentro del listado de medicamentos esenciales para la República Argentina, son distribuidos en los distintos hospitales y centros asistenciales de la provincia. El Laboratorio de Química Analítica Instrumental de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura de la Universidad Nacional del Nordeste efectúa el control de calidad de estos productos y desarrolla métodos alternativos de análisis de medicamentos algunos de los cuales, como el presente, son adaptables a la realización de un trabajo práctico.

Se propone una técnica conductimétrica para la cuantificación de paracetamol en comprimidos que lo contienen como monodroga. En los controles de calidad, esta determinación se efectúa luego de la identificación del principio activo mediante métodos espectrofotométricos ó cromatográficos.

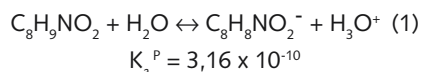
Es sabido que la conductimetría [2] comprende un grupo de métodos analíticos basados en la medida de la conductancia eléctrica (L) de una solución, la que en el caso de los conductores de segunda especie ó electrolitos viene dada por la migración de aniones y cationes hacia los electrodos de signo opuesto. En soluciones diluidas la conductancia está estrechamente vinculada con la concentración del electrolito.

Cuando una reacción química da lugar a un cambio (aumento ó disminución) del número total de iones en solución, ó bien iones de gran movilidad son sustituidos por otros de menor movilidad y viceversa, la misma es aplicable a una titulación conductimétrica.

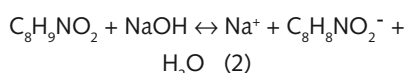
La principal ventaja de las valoraciones conductimétricas reside en que las gráficas son lineales, por lo tanto se efectúan 4 ó 5 lecturas antes y otras tantas después del punto de equilibrio y por interpolación se determina el punto final. Es decir, no interesan las medidas cercanas al punto mismo

de equivalencia, por lo que es adecuado a reacciones con constantes de equilibrio bajas y a soluciones muy diluidas, situaciones difíciles de resolver a través de la volumetría clásica o potenciométrica.

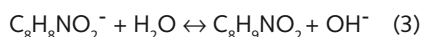
El paracetamol es un ácido débil (pKa = 9.5) debido a su grupo hidroxilo aromático:



Por lo tanto, en la titulación con una base fuerte como el NaOH tendrá lugar la neutralización:



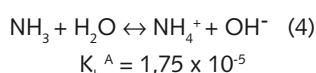
La concentración inicial de protones es muy baja, y a medida que progresa la titulación, la base conjugada $C_8H_8NO_2^-$ experimenta hidrólisis según:



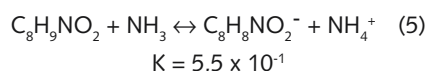
El efecto final es el reemplazo de iones $C_8H_8NO_2^-$ de baja movilidad iónica, debido a su gran tamaño, por iones Na^+ de mayor movilidad, lo que conduce a un aumento de la conductancia de la solución en el transcurso de la primera fase de la titulación. Esto puede apreciarse en la Figura 2.

La representación de la curva de titulación del paracetamol con NaOH presenta un an-

cho ángulo entre la línea de titulación y la de exceso de valorante. En ella se comprueba la dificultad para localizar con precisión el punto final, ubicado en la intersección de dos líneas de pendientes crecientes y similares. Este resultado puede mejorarse mediante la adición de un exceso de una base débil, como amoníaco, la que en solución acuosa se disocia según:



La adición de amoníaco en exceso en relación a la concentración de paracetamol conduce a:



por lo que la reacción de titulación del paracetamol con agregado de un exceso de amoníaco frente a una base fuerte como el NaOH consiste sustancialmente en la neutralización de los iones amonio, estequiométricamente equivalentes al paracetamol.

Antes del punto de equivalencia, los OH^- añadidos neutralizan a los NH_4^+ . El cambio en la conductividad resulta de la diferencia entre las movilidades iónicas del Na^+ y el NH_4^+ (Tabla 1).

Después del punto de equivalencia, la conductancia crece con gran pendiente

como consecuencia del incremento de iones OH^- en exceso. En la figura 3 se aprecia cómo la disminución del ángulo entre la línea de titulación y la de exceso de valorante facilita la ubicación gráfica del punto final.

Si se trazan las tangentes a ambas ramas de la curva, como se muestra en la figura 3, en su intersección se determina el volumen de solución de NaOH correspondiente al punto final. En este punto debe cumplirse:

$$V_{NaOH} \times N_{NaOH} = V_{Paracetamol} \times N_{Paracetamol} \quad (6)$$

Por lo que conociendo la concentración del titulante (previa normalización frente a biftalato de potasio) y el volumen de solución de paracetamol, se calcula la cantidad de paracetamol presente en la solución.

En el desarrollo de la titulación, al ir agregando el reactivo titulante, el volumen de disolución en la que se realiza la medición conductimétrica se incrementa modificando el valor de L. Esta variación se corrige afectando a cada medición por el factor de dilución $[(v + V) / V]$; siendo v el volumen de titulante agregado y V el de solución inicial.

Es posible evitar la aplicación de esta corrección cuando el cambio del volumen es inferior al 10%. Esto se logra utilizando un reactivo titulante que sea aproximadamen-

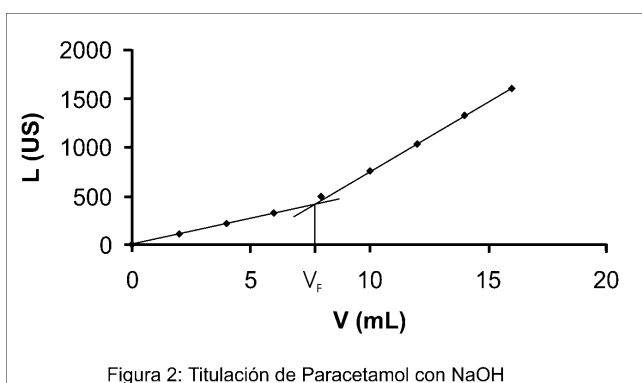
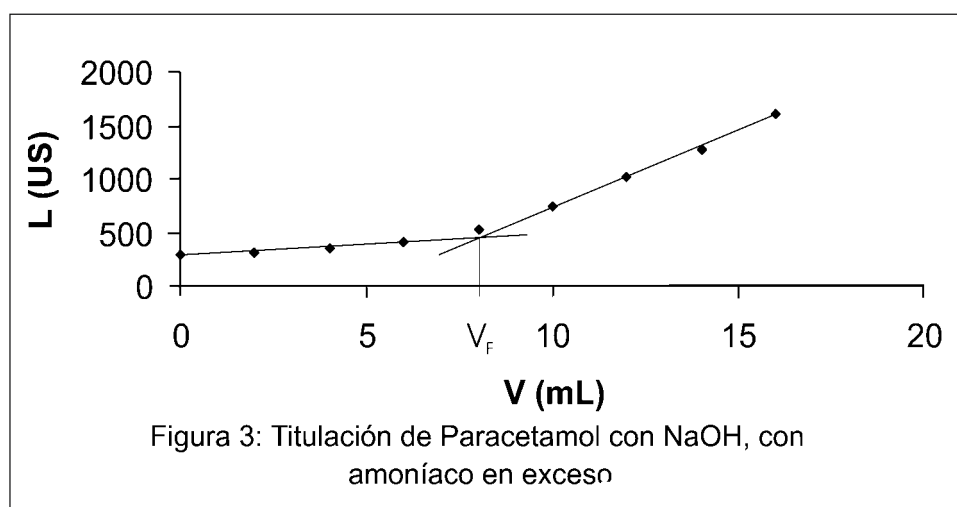


Figura 2: Titulación de Paracetamol con NaOH

Tabla 1. Conductancias Iónicas Equivalentes a Dilución Infinita y 25°C

CATION	Λ_0^+ ($ohm^{-1}cm^2mol^{-1}$)	ANION	Λ_0^- ($ohm^{-1}cm^2mol^{-1}$)
H ⁺	398,2	OH ⁻	198
Li ⁺	38,69	Cl ⁻	75,23
Na ⁺	50,11	I ⁻	76,8
K ⁺	73,52	CH ₃ COO ⁻	40,9
NH ₄ ⁺	73,4	NO ₃ ⁻	71,4



te diez veces más concentrado que el titulado.

Por su parte, se sabe que los excipientes son sustancias auxiliares que se incorporan al principio activo para facilitar la preparación, conservación ó administración del fármaco. Así, por ejemplo, el almidón se incorpora habitualmente para dar cuerpo y forma a los comprimidos. Las titulaciones conductimétricas, de naturaleza electroquímica, hacen posible su aplicación a muestras coloreadas ó turbias. Este es generalmente el caso en la industria farmacéutica, debido principalmente a la presencia de excipientes en los medicamentos.

OBJETIVOS

Lograr que los estudiantes:

- Determinen el contenido de paracetamol de comprimidos que lo contienen como monodroga, por titulación conductimétrica.
- Evalúen el efecto del agregado de una base débil (amoníaco) sobre la determinación del punto final conductimétrico en la valoración de un ácido débil- paracetamol- con una base fuerte.
- Se familiaricen con los procedimientos

instrumentales de análisis de sustancias activas en preparaciones farmacéuticas.

- Interpreten los resultados extraídos de la experiencia mediante las herramientas estadísticas más usadas.

DISEÑO DE LA EXPERIENCIA

Cálculos Previos

Considerando que se disuelve un (1) comprimido comercial de 500 mg de paracetamol en 500 mL de agua destilada, y se separan alícuotas de 150 mL para su análisis por titulación conductimétrica:

1. Calcule la concentración de la solución de NaOH que permitirá obviar la aplicación de la corrección por variación de volumen.
2. Establezca el volumen teórico correspondiente al punto de equivalencia
3. En base a la ecuación (5) estime el volumen de solución de amoníaco comercial (26 %) que debe adicionarse a una solución que contenga 150 mg de paracetamol, para que el NH_3 esté presente en exceso.

Organización de Grupos de Trabajo

Es conveniente distribuir a los alumnos en grupos de 3 miembros como máximo, con la finalidad de que cada estudiante participe efectivamente en la realización de la experiencia. Dado que el tiempo de análisis es breve (cada titulación no insume más de 10 minutos), si se cuenta con un único conductímetro, los grupos podrán desarrollar las experiencias en forma secuencial.

Cada grupo efectuará la tarea que se indica a continuación.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

- a) En un mortero pulverice un (1) comprimido de 500 mg de paracetamol. Disuélvalo con agitación, en 500 mL de agua destilada. Es conveniente mantener la agitación durante aproximadamente 5 min para asegurar la completa disolución del principio activo presente en el preparado farmacéutico. La turbidez de la solución resultante se debe a los excipientes y no obstaculiza la etapa posterior de análisis
- b) Transvase a un vaso de precipitados de 250 mL de capacidad una alícuota de 150 mL. Sumerja los electrodos del

conductímetro y la barra del agitador magnético. Conecte el conductímetro. Registre la conductancia después de cada agregado de 1 mL del valorante (NaOH \approx 0,1 N), hasta completar los 15 mL. Grafique Conductancia L (μ s) vs. Volumen V (mL) y trace las tangentes correspondientes para localizar el punto final.

- c) Tome una nueva alícuota de 150 mL de solución de paracetamol, adicione 0,5 mL de amoníaco concentrado y repita el procedimiento dado en (a). Represente L vs. V y determine gráficamente el punto final.

RESULTADOS

Cada grupo de alumnos:

- 1) Compara las gráficas obtenidas y comprueba la mejora en la determinación del punto final de la titulación conductimétrica de paracetamol vs. NaOH producida por el agregado de amoníaco.
- 2) A partir de los resultados de la titulación sin agregado de amoníaco, calcula la masa de paracetamol (mg) presente en

la solución analizada y por extensión en el comprimido (mg paracetamol/comprimido).

- 3) Efectúa el mismo cálculo que en (2) para la titulación con agregado de amoníaco.

La clase en su conjunto:

- 4) Con los valores obtenidos por cada grupo (mg paracetamol/comprimido) a partir de la titulación sin agregado de amoníaco calcula el promedio y la reproducibilidad del análisis expresado en términos de coeficiente de variación porcentual (CV%) [3].
- 5) Efectúa el mismo cálculo que en (4) para la titulación con agregado de amoníaco.
- 6) Compara la precisión de la determinación a través de los coeficientes de variación calculados en (4) y (5).
- 7) Constata si el contenido de paracetamol por comprimido cae en el intervalo permitido por la Farmacopea de los Estados Unidos [4] comprendido entre el 90,0 y 110,0 % del valor consignado en el rótulo del medicamento.

CONCLUSIONES

Los alumnos comprueban la aplicación de una técnica electroanalítica sencilla a muestras de monodroga provenientes de la industria farmacéutica.

Aplican conocimientos de equilibrios químicos en solución para mejorar los resultados de la titulación conductimétrica.

Asimismo verifican que el contenido de principio activo de un medicamento responde a un valor promedio de los resultados alcanzados en el análisis.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Velásquez; P. Lorenzo y col. "Farmacología Básica y Clínica". 17° Edición. Ed. Médica Panamericana. 2004.
- [2] Rubinson K. A. y J. Rubinson "Química Analítica Contemporánea". Ed. Prentice Hall. 2001.
- [3] Miller, J. C. y Miller, J. N. "Estadística y Quimiometría para Química Analítica". 4° Edición. Ed. Prentice Hall. 2002.
- [4] United States Pharmacopeia XXV, National Formulary XX, US Pharmacopeial Convention, Rockville, MD, 2002.

LISTADO DE ANUNCIANTES

Analytical Technologies	Ret. cont.	Gador	Contratapa	Prosintex Química S.R.L.	Pág. 35
Aryl	Pág. 36	GT Laboratorios	Pág. 39	Síntesis Química S.A.I.C.	Ret. cont.
Centro Profesional		Ipesa S.A.	Pág. 38	Sudamfos S.A.	Pág. 37
de Química	Pág. 35	LABCI	Pág. 36	SwissLab Argentina S.A.	Pág. 37
Cientist S. A.	Ret. tapa	Omnilab	Pág. 39	Vilmax S.A.	Pág. 38

Experimentos atractivos de química con gusto a biología

Carlos A. Franca y Ana C. González Baró*

INTRODUCCIÓN

En la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional de La Plata, dentro del área de Químicas Básicas del Departamento de Química, llamamos "cursos de correlación" a las materias que abarcan los contenidos de una Química General o una Introducción a la Química pero que están destinados a estudiantes de carreras que no pertenecen a las Ciencias Exactas. Así, estos cursos, se imparten para las carreras de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo, el Profesorado de Biología de la Facultad de Humanidades y algunas carreras de la Facultad de Ingeniería. Estos cursos pueden ser semestrales o anuales y se dictan moderando la exigencia que suponen las carreras exactas. Sin embargo, al desarrollar los contenidos, rara vez se lleva a cabo una estrategia didáctica que subraye los aspectos motivacionales propios de los estudiantes de esas disciplinas y que apunte a integrar los intereses de tales carreras en función de aprender la química de forma significativa, de manera tal que no represente una pesada carga de conceptos, fórmulas y contenidos sin asidero. Para tales carreras se deben

Área de Químicas Básicas. Cátedra de Introducción a la Química (correlación) Departamento de Química. Facultad de Ciencias Exactas, UNLP. Calles 47 y 115 (1900) LaPlata. carfranca@quimica.unlp.edu.ar

diseñar situaciones didácticas que contemplen planteos dentro del mundo cotidiano en el que los estudiantes se desenvuelven, y estrechas vinculaciones con el campo de la biología, de manera tal que estas situaciones dispensen las motivaciones y las inquietudes particulares de estas carreras. En las sustancias producidas por el metabolismo de los seres vivos, sean éstas metabolitos primarios o secundarios, tenemos una fuente inagotable de compuestos desde donde apoyar diversas situaciones de aprendizaje. No es lo mismo explicar qué son las bases usando sólo como ejemplo los diferentes hidróxidos inorgánicos que hacerlo en el marco del papel que juegan las bases púricas y pirimidínicas en los ácidos nucleicos [1,2,3,4].

En este artículo describimos el desarrollo de un trabajo práctico pensado como el inicial de un curso de correlación de tales características en el cual el alumno, tal vez por primera vez, lleva adelante una operación experimental. Aquí se lo introduce a la práctica de reacciones químicas, primero de las que podríamos llamar de la química pura, y luego a una serie de reacciones de sumo interés biológico, todas ellas observables. Cabe destacar que las experiencias propuestas pueden adaptarse fácilmente a las aulas y laboratorios de los cursos de nivel secundario y terciario.

CARACTERIZACIÓN DE COMPUESTOS QUÍMICOS

La caracterización de un compuesto implica establecer cuál es su naturaleza química, no en términos del conocimiento detallado de su estructura molecular sino más bien de los grupos químicos de la sustancia, responsables de la función principal. A priori se sabe qué compuestos hay en la mezcla y de alguna forma se trata de detectarlos. En el trabajo de un laboratorio de ciencias es posible reproducir a tal escala algunas de las metodologías de caracterización de compuestos empleadas en la síntesis química, ya sea en el área de la investigación ya en la industria. La técnica más difundida para caracterizar en el laboratorio de enseñanza es a través de las reacciones químicas, esto es poner en evidencia los grupos funcionales de un compuesto haciéndolo reaccionar con otro, por medio de una reacción que es observable. En una muestra problema y con las reacciones adecuadas podremos revelar la existencia de iones, hidratos de carbono reductores, péptidos, polisacáridos, lípidos, etc. Por supuesto, las reacciones químicas no constituyen la única vía para la caracterización de sustancias, pero sí la más importante para la enseñanza de la química en los primeros años, por lo que este trabajo práctico está orientado a descubrir la presencia de diversos compuestos de importan-

cia química y aplicar los mismos conceptos y métodos para hacer lo propio con compuestos de importancia biológica, en muestras de uso o conocimiento familiares para el estudiante. Para esto se escogieron diversas reacciones todas ellas observables, ya sea por cambios de color del o de los reactivos, aparición de un precipitado o por el viraje del color de un indicador. Además se propone la clasificación sencilla de dichas reacciones a los efectos de incorporar conceptos de relevancia en la enseñanza de la química [5].

PARTE EXPERIMENTAL

Primera parte: Tipos de reacciones químicas

- 1) En dos tubos de ensayo agregar 2 ml de ácido clorhídrico 0.1 M en cada uno. En uno de los tubos agregar tres gotas de solución alcohólica de fenoltaleína. En los dos tubos agregar 2 ml de hidróxido de sodio 0.1 M. Describir cambios macroscópicos.
- 2) En un tubo de ensayo colocar una granalla de cinc y agregar 2 ml de ácido clorhídrico (1:4). Describir cambios macroscópicos.
- 3) En un tubo de ensayo colocar virutas de hierro y agregar 2 ml de ácido clorhídrico (1:4). Calentar suavemente y agitarlo. Describir cambios macroscópicos.
- 4) En un tubo de ensayo agregar 2 ml de solución de nitrato de plomo 0,05 M y agregar, gota a gota, 2 ml de cromato de potasio de igual concentración. Describir cambios macroscópicos.
- 5) En un tubo de ensayo colocar 2 ml de solución de permanganato de potasio 0.2% p/V. Agregar tres gotas de ácido sulfúrico (1:10). Agregar solución de agua oxigenada 10 vol, gota a gota. Describir cambios macroscópicos.
- 6) En un tubo de ensayo colocar 2 ml de solución de sulfato de cobre 1% p/V. Agregar gota a gota solución de amoníaco comercial hasta formación de un precipitado. Luego, continuar agregando amoníaco. Describir cambios macroscópicos.

Informe de la primera parte:

Luego de la parte experimental y de la explicación del marco teórico (ver más abajo), los estudiantes deben presentar un informe sobre la práctica en la que deberán clasificar las reacciones e interpretarlas mediante ecuaciones balanceadas.

Breve reseña teórica para la clasificación tipos de reacciones químicas:

Reacciones de precipitación: Son reacciones en las cuales el producto formado es un compuesto insoluble o muy poco soluble y se observa, bien como un precipitado en el fondo de la solución o como una dispersión opaca .

Reacciones redox: Una reacción redox implica la transferencia de electrones de una especie química a otra, razón por la cual un elemento en un compuesto cambia su número de oxidación. Muchas veces la especie reducida tiene un color diferente a la oxidada, o bien el estado de agregación es diferente.

Reacciones de complejación: Los metales de transición forman compuestos con moléculas e iones que se ordenan alrededor de ellos, muchos de estos compuestos, a los que se denomina *complejos*, son coloreados.

Reacciones de neutralización: Los ácidos reaccionan con las bases para formar sales y agua. Se ponen en evidencia con el agregado de un indicador, sensible a la variación del pH que se pone de manifiesto con un cambio de color.

Segunda Parte: Reacciones de importancia biológica

En esta parte se ensaya cloruros en tres muestras: orina, agua de la canilla y agua destilada respectivamente, con nitrato de plata acidificado con ácido nítrico diluido. En otras muestras: papa, solución de glucosa, solución de sacarosa, y gelatina sin

sabor, se caracterizan polisacáridos, azúcares reductores y proteínas usando las reacciones de Lugol, Fehling y Biuret. El resultado se expresa como un cuadro cualitativo que muestra los ensayos positivos y los negativos (Tabla 1).

PROTOCOLOS PARA PREPARAR LOS REACTIVOS

Reactivo de Lugol: Se prepara una solución acuosa de I_2 al 1% p/V estabilizada con KI al 2% p/V.

Reactivo de Fehling: Se prepara dos soluciones acuosas que se mantienen separadas hasta hacer el ensayo. Una, llamada Fehling A, contiene 3,5% p/V de sulfato de cobre cristalizado. La otra, Fehling B, es una solución 40% p/V de hidróxido de sodio y 15% p/V de sal de Signette (tartrato de sodio y potasio).

Reactivo de Biuret: También se preparan dos soluciones acuosas que se mezclan en el momento del ensayo. Biuret A, es sulfato de cobre al 1% p/V y Biuret B es hidróxido de sodio 20% p/V.

PROTOCOLOS PARA LOS ENSAYOS

a) Caracterización de cloruros

En tres tubos de ensayo agregar, respectivamente, 2 ml de orina, 2 ml de agua de la canilla y 2 ml de agua destilada. A cada uno agregar 3 gotas ácido



Figura 1. Preparación de la muestra de almidón extraído de la papa

nítrico. En cada tubo de ensayo agregar, gota a gota solución de nitrato de plata, hasta que la solución se torne opaca.

b) Caracterización de polisacáridos y azúcares reductores

Cortar un cubo de papa de 1cm³, colocarlo en un mortero con 10 ml de agua destilada y machacar (Figura 1). Tomar dos alícuotas de 2 ml de líquido con pipeta y colocar en sendos tubos de ensayo Rotular *almidón A*, *almidón B* y conservar. En dos tubos de ensayo colocar respectivamente 2 ml de solución de glucosa. Rotular *glucosa A*, *glucosa B* y conservar. Pesar 8 gramos de azúcar y disolverla en 10 ml de agua destilada. Tomar 4 ml con pipeta y repartir 2 ml en sendos tubos de ensayo. Rotular *sacarosa A*, *sacarosa B* y conservar. A los tubos *A* practicarles la reacción de Fehling (1 ml de solución Fehling B y luego 1ml de Fehling A, calentar suavemente hasta observar el precipitado rojo ladrillo). A los tubos *B* practicarles la reacción de Lugol. Observar.

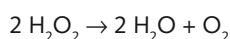
c) Caracterización de proteínas

Pesar 5 gramos de gelatina sin sabor y disolverla en 10 ml de agua destilada. Practicarle la reacción de Biuret (1 ml de Biuret A más 3 ml de Biuret B y calentar muy suavemente hasta ver coloración) y observar. Ensayar también la reacción en muestras de almidón, glucosa y sacarosa.

d) Verificación de la acción de la enzima catalasa

Cortar un cubo de 1cm³ de hígado de vaca y triturar en mortero con 20 ml de agua. Tomar 2 ml de líquido sobrenadante, colocarlo en un tubo de ensayo y agregar unas gotas de agua oxigenada. Observar.

La catalasa es una enzima que contiene hierro en su sitio activo y cataliza la reacción de descomposición del peróxido de hidrógeno en los seres vivos que la posee y para los cuales este compuesto es tóxico [6].



Se observa el desprendimiento de oxígeno por la formación violenta de espuma en la superficie del líquido en el vaso de precipitados (Figura 2).



Figura 2. La catalasa en acción

Resultados esperados

	agua destilada	agua corriente	orina	almidón	sacarosa	glucosa	gelatina
Cloruros	—	+	+				
Fehling				—	—	+	—
Lugol				+	—	—	—
Biuret				—	—	—	+

COMENTARIOS FINALES

Estos experimentos permiten la ejercitación y discusión entre docentes y alumnos de los resultados que esperarían obtener en otras muestras de uso cotidiano como la clara de huevo, la leche, la maizena, etc.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J.I. Pozo, M.A. Gómez Crespo, "Aprender y enseñar ciencia", Ed. Morata, Madrid, 1998.
- [2] A. Giordán, G. De Vecchi, "Los orígenes del saber", Díada Editora, Sevilla, 1997.
- [3] C. Parra, I. Saiz, (comps) "Didáctica de Matemáticas. Aportes y reflexio-

Breve marco teórico sobre la base química de los ensayos biológicos:

Reacción de Fehling: La reacción de Fehling es una reacción de óxido-reducción en la que el ión Cu²⁺ se reduce en medio alcalino a óxido cuproso, debido a los grupos carbonilo reductores de algunos azúcares. El ión Cu²⁺ es de color azul en solución y el óxido cuproso es un sólido insoluble de color rojo ladrillo.

Reacción de Lugol: La reacción de Lugol es una reacción de complejación en la que el yodo forma un compuesto de color violeta con las cadenas polisacáridas del almidón.

Reacción de Biuret: La reacción de Biuret es una reacción de complejación entre el ión Cu²⁺ y pares de electrones libres de los nitrógenos de una unión peptídica. Los colores de estos complejos varían de acuerdo al tipo de proteína en cuestión [7,8,9,10].

- [4] M. Carretero, "Construir y enseñar las ciencias experimentales", Aique Grupo Editor, Buenos Aires, 1997.
- [5] R. Chang, "Química", 6^a Ed. Mc Graw Hill, Méjico, 1998.
- [6] E. J. Baran, "Química Bioinorgánica", Ed. Mc Graw Hill, España, 1995.
- [7] D.L. Nelson, M.M. Cox, "Lehninger. Principios de Bioquímica", 3^a Ed. Ediciones Omega, Barcelona, 2001.
- [8] T.C. Cooper, "Instrumentos y Técnicas Bioquímicas", Ed. Reverté, 1984.
- [9] L.G. Wade, "Química Orgánica", 2^a Ed. Prentice-Hall Hispanoamericana, Méjico, 1993.
- [10] B.S. Furniss, A.J. Hannaford, P.W.G. Smith, A.R. Tatchell, "Vogel's Textbook of Practical Organic Chemistry", Longman, Singapur, 1999.

Transformando aceite de freír usado en biodiesel: una propuesta experimental para la enseñanza secundaria

Favio Daniel Torossi ^{1,2*} y Manuela Martín Sánchez ²

INTRODUCCION

Desde diferentes ámbitos de la Didáctica de las Ciencias Experimentales, se ha señalado la necesidad de contextualizar lo que los alumnos y las alumnas aprenden en el aula con el entorno de sus vidas cotidianas. Esto ha exigido importantes cambios en la educación científica en todos los niveles. Pero contextualizar no es tarea sencilla, el entorno suele ser complejo y no todo lo que rodea a los estudiantes puede serles significativo, como señalan Del Río y Álvarez, [1] sus vidas cotidianas se están reduciendo, de forma que, lo que para el docente puede ser un entorno cotidiano como la cocina por ejemplo, para ellos puede ser un medio extraño y sin interés. En este sentido, consideramos que los contenidos científicos deben contextualizarse en lo posible, en temas que permitan una amplia transversalidad, es decir, vinculados con problemas actuales, que incluyan tanto aspectos tecnológicos, sociales, medioambientales como económicos.

¹ Facultad de Bromatología. UNER, Perón N° 64, CP. 2820, Gualeguaychú. Argentina. ² Dpto. Didáctica de las Ciencias Experimentales. Facultad de Educación. Universidad Complutense de Madrid. Rector Royo Villanova s/n. Ciudad Universitaria. CP 28040. Madrid. España. E-mail: ftorossi@infovia.com.ar

Dentro de este escenario, y frente a la actual crisis energética y ambiental, la posibilidad de convertir un desecho contaminante como el aceite de freír usado, en un combustible ecológico y económicamente viable como el biodiesel, puede resultar una actividad experimental de laboratorio muy significativa para contextualizar, a partir de la química orgánica, una reacción de transesterificación en la enseñanza secundaria.

Los objetivos de este trabajo se centran por un lado, en la conceptualización de los parámetros experimentales que condicionan la síntesis del biodiesel para que, en función de ello, el profesorado pueda diseñar actividades de mayor grado de indagación y orientar a sus alumnos en la resolución de situaciones problemáticas que requieran de la formulación de hipótesis, control de variables y diseños experimentales, conforme a una concepción más coherente con la naturaleza del trabajo científico. Por otro lado, pretendemos proporcionar un experimento sencillo y con una perspectiva de análisis físico químico que favorezca la integración de diversas técnicas de laboratorio, al tiempo que permita un juicio crítico de resultados frente a estándares de calidad normalizados.

Biodiesel: un combustible alternativo

Se conoce como *biodiesel* al combustible obtenido a partir de aceites vegetales o grasas animales que puede sustituir total o parcialmente al gasoil en los motores diesel. Su origen biológico y renovable viene enfatizado por el prefijo "bio" que lo diferencia del tradicional diesel derivado del petróleo.

Desde una perspectiva química, es una mezcla de ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga, derivados de lípidos como los aceites vegetales o grasas animales, obtenidos a partir de la *transesterificación*, término general con el cual se designa a las reacciones orgánicas en las cuales se produce un intercambio o sustitución del grupo acilo o alquilo de un éster. Así, dependiendo de la sustancia con la cual reaccione el éster, hablamos de *alcoholólisis*, *acidólisis* o de *interesterificación*. Como se ha discutido en un trabajo anterior, [2] la utilización de esta terminología en disciplinas especializadas puede prestarse a confusión, pero en química orgánica, es de pleno consenso referirse a la transesterificación en términos de alcoholólisis, es decir, cuando un éster reacciona con un alcohol para formar un nuevo éster y nuevo alcohol. [3] (Figura 1).

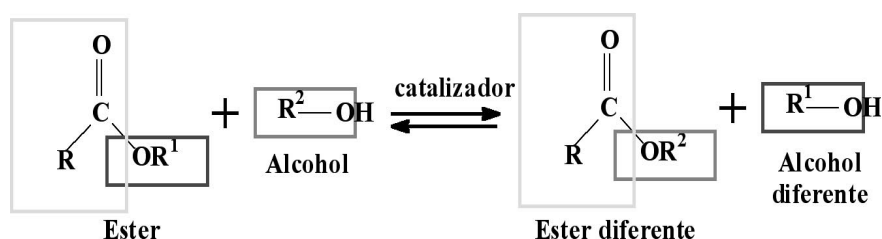


Figura 1. Ecuación general para representar a una reacción de transesterificación.

Poniendo en contexto la reacción anterior, podemos definir a la transesterificación como la reacción mediante la cual, los triglicéridos (TG) presentes en los aceites vegetales y grasas animales se combinan con un alcohol de bajo peso molecular (usualmente metanol) en presencia de un

catalizador adecuado, para formar glicerina y una mezcla de ésteres grasos (Figura 2). Estos ésteres, poseen propiedades y tamaños similares a los constituyentes del combustible diesel derivado del petróleo, y es lo que se conoce como Biodiesel.

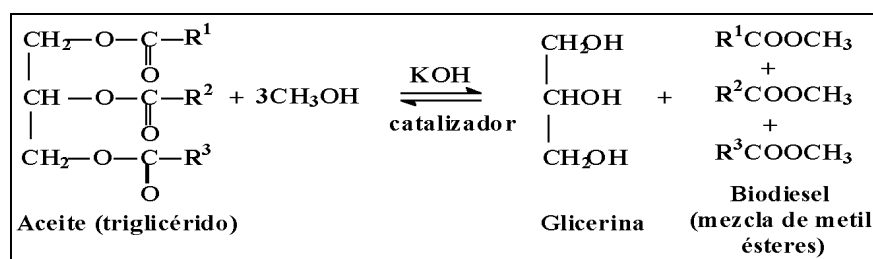


Figura 2. Reacción de transesterificación de triglicéridos (TG) mediante metanol en medio básico; en la bibliografía suele especificarse como metanolisis.

El hecho de utilizar aceites vegetales como combustible no es una novedad, basta recordar que Rudolph Diesel, el creador del motor que hoy lleva su nombre, ya había utilizado en 1897 aceite de maní. El auge del petróleo en aquella época transformó la experiencia en una anécdota. Pero hoy, frente a la actual crisis energética y ambiental, se ha hecho imperiosa la necesidad de buscar combustibles alternativos "amigables con el entorno" que permitan el desarrollo de la sociedad con un mínimo impacto sobre los ecosistemas.

Biodiesel: implicancias ambientales y desarrollo sostenible.

El biodiesel es atóxico, biodegradable y presenta un perfil de emisiones lo suficiente-

mente bajo como para disminuir el efecto invernadero y responder a las exigencias del protocolo de Kyoto. [4] Se obtiene mediante un desarrollo sostenible a partir de materias primas vegetales renovables, como las oleaginosas, y/o reutilizables, como aceites de freír usados y desperdicios de grasas animales. Dentro de este contexto, reciclar el aceite de cocina usado, es una alternativa muy importante desde el punto de vista ambiental. Si bien, el volumen de una ciudad entera no bastaría para satisfacer las mínimas demandas de combustible, la cantidad de aceite arrojado diariamente por los resumideros de las cocinas impacta profundamente en el medio ambiente. No todos los municipios cuentan con una eficiente gestión de residuos y tratamientos de efluentes por lo que, a menudo, éstos aceites llegan directamente a los cursos de agua

sin previo tratamiento, representando un riesgo para el ecosistema acuático al formar una delgada capa superficial que impide procesos fisicoquímicos fundamentales para la vida. Además de la problemática ambiental, es un desperdicio de materia prima valiosa como la glicerina y los ácidos grasos, que podrían ser reutilizados en otros procesos económicos. [5]

Mecanismo de reacción y variables que condicionan la síntesis de biodiesel

Si bien se han descrito diferentes procesos y condiciones experimentales para la producción de biodiesel, [6] la utilización de alcoholes de bajo peso molecular como el metanol y de catalizadores básicos, como el KOH, se considera una opción ventajosa en términos de economía, rendimiento, velocidad de reacción y calidad de producto obtenido. La transesterificación en medio básico, es un buen ejemplo de una reacción de sustitución nucleofílica en el grupo acilo (carbonilo) que transcurre a través de un mecanismo de adición-eliminación con la intervención de un intermedio tetraédrico. [7] Las principales variables que condicionan la síntesis de biodiesel son:

1) *La calidad de los reactivos*: una valoración previa de la acidez del aceite es fundamental para determinar la cantidad de catalizador. Como la neutralización de los ácidos grasos libres conlleva a una saponificación, es recomendable partir de aceites usados de baja acidez para minimizar la formación de jabones que dificultarían la separación del biodiesel después de la reacción. La transesterificación en medio básico requiere de reactivos anhidros, por lo que es esencial eliminar el agua de los aceites y utilizar tanto KOH como metanol de alta pureza.

2) *Relación molar entre el alcohol y el aceite*: es una de las variables más influyentes

en el rendimiento de la reacción y en la viscosidad final del biodiesel.[8] El alcohol más utilizado es el metanol debido a su polaridad y a su estructura de cadena corta.[9] Si bien, la estequiometría para la reacción de transesterificación requiere 3 moles de alcohol por mol de aceite (3:1), en la práctica se incrementa a 6:1 para desplazar el equilibrio hacia la formación de ésteres metílicos, una proporción mayor, dificultaría la separación del glicerol por aumento de su solubilidad.[8,10,11]

3) *Tipo y concentración de catalizador*: el KOH ha sido descrito como el más conveniente para aceites usados, [8,11] aunque presenta el inconveniente de propiciar una saponificación de forma simultánea a la transesterificación. Como la velocidad de reacción viene determinada por el ataque de un nucleófilo (ya sea el ión alcóxido en la transesterificación o bien el hidróxido en la saponificación), es importante usar reactivos anhidros para minimizar la presencia de agua y por ende la formación de KOH, permitiendo que el ataque del metóxido sea el determinante de la velocidad de reacción, [12] esto, sumado a un exceso de alcohol que desplace el equilibrio hacia la formación de ésteres metílicos, permitirá atenuar el efecto de la reacción de saponificación. Para aceites con acidez inferior al 5%, la utilización de un 1% p/p de catalizador es el más adecuado manteniendo constantes los demás parámetros de reacción. [8]

4) *Agitación, temperatura y tiempo de reacción*: una óptima agitación es de 600 rpm. [5] La temperatura de reacción debe mantenerse entre 25 y 65°C. El tiempo de reacción depende de la temperatura, durante el primer minuto, la reacción transcurre lentamente debido a la dispersión del metóxido, pero aumenta rápidamente alcanzando en cinco minutos, porcentajes próximos al 84.7, 61.6 y 49.3% de ésteres metílicos a 65, 45 y 25° C, respectivamente. [11]

MATERIALES Y METODOS

Normas de seguridad

El KOH es muy corrosivo, por lo cual no deberá tocarse con las manos. El metanol es

inflamable y muy tóxico por inhalación, contacto con la piel e ingestión, deberá manipularse *bajo campana y con guantes*. Del mismo modo, con el metóxido de potasio, al ser altamente inflamable y corrosivo, deberá trabajarse de la misma forma.

Materiales y reactivos

Tabla 1. Lista general de reactivos y materiales necesarios para llevar a cabo la experiencia

MATERIALES	REACTIVOS
<ul style="list-style-type: none"> • Estufa y material de soporte de uso general. Cedazo • Matraz de tres bocas de 250 mL con refrigerante. • Plancha calefactora con agitador magnético • Bureta de 25 mL. Vaso de 250 mL. Ampolla de decantación 	<ul style="list-style-type: none"> • Aceite de freír usado. • Metanol anhidro. • Hidróxido de potasio anhidro. • Etanol. • Disolución de fenolftaleína. • Papel indicador de pH. • Sulfato de sodio anhidro.

Procedimiento experimental

Muestra: se podrán utilizar aceites comestibles de diversos tipos (girasol, maíz, soja, mezclas, etc.) y procedencias (domicilios particulares, restaurantes, cafeterías etc.)

Acondicionamiento previo: la muestra se calienta a 35 °C, se filtra varias veces a través de un cedazo y se calienta a 120°C agitando durante 5 minutos para eliminar el agua presente.

Determinación del índice de acidez: se disuelve 1g de aceite en 10 mL de etanol a 60°C, se adicionan 3 gotas de disolución de fenolftaleína y se valora con disolución de KOH 0,1 M hasta coloración rosa pálido (para evitar exceso de álcali, tener en cuenta que el cambio de coloración se ve afectado por reacciones reversibles), en la Figura 3 se proporcionan las fórmulas para su determinación. Debido a que los aceites para freír usados son generalmente mezclas de composición desconocida, a los fines de los

cálculos estequiométricos se considerará un PM promedio para el aceite de 873,4 g/mol, [11] La cantidad de KOH a utilizar debe permitir la catálisis de la reacción y la neutralización de los ácidos grasos libres, para los aceites con un índice de acidez inferior al 5%, un 1% p/p de catalizador es el adecuado siempre y cuando se mantengan constantes los demás parámetros de reacción; para aceites con una acidez mayor de 5%, la cantidad extra de catalizador puede estipularse considerando que cada mL de solución de KOH 0,1 M necesaria para neutralizar una acidez por encima del 5% equivale a 1 g de catalizador por 1000 g de aceite a ensayar.[13]

Preparación del metóxido: en un erlenmeyer de 250 mL se coloca 1 g de KOH (1% p/p de aceite) con 30 mL de CH₃OH (relación molar alcohol/aceite 6:1), se tapa y se agita hasta completa disolución. Para esta experiencia, los cálculos estequiométricos se efectuaron a partir de un aceite con una acidez inferior al 5%. *Efectuar bajo campana y con pantalla protectora*.

Reacción de transesterificación: en un balón de tres bocas con capacidad de 250 mL equipado con refrigerante a reflujo y agitación (Figura 4) se colocan 100 g (0,12 mol) del aceite previamente acondicionado, se atempera a 60 °C mediante un baño de agua termostatzado. Una vez alcanzada la temperatura de reacción en el interior del reactor se conecta el refrigerante de reflujo, se enciende el agitador y se introduce rápidamente la disolución de metóxido de potasio, este instante es el considerado como tiempo inicial ($t = 0$) de la reacción.

Se calienta a 60 °C durante 1 hora con agitación constante a 600 rpm. Una vez alcanzado el tiempo estipulado, la mezcla se transfiere a un embudo de decantación y se deja reposar 12 horas para que se produzca la separación de dos capas bien definidas, una superior constituida por el Biodiesel y una inferior integrada principalmente por glicerina y residuos de reacción. Se separa el Biodiesel, se lava con 4 volúmenes de agua caliente a 80°C hasta pH neutro, se seca con 10 g de Na_2SO_4 y se filtra.

puede ser fácilmente realizado por los alumnos, [16] manteniendo siempre las debidas normas de seguridad y protección.

Determinación del punto de inflamación y del punto de combustión

En un pequeño crisol de porcelana se colocan 10 mL de biodiesel, se sumerge un termómetro de 300 °C y se calienta suavemente con la llama de un mechero (Figura 5). A partir de los 90 °C y a intervalos de 5 °C de aumento, se acerca y retira la llama de un fósforo; cuando el biodiesel se encienda con la misma, pero se apague al retirarla (formación de un halo muy brillante) la temperatura leída corresponderá al punto de inflamación (p.i.), cuando quede encendido, aún después de retirado el fósforo, se estará en presencia del punto de combustión (p.c). El punto de inflamación o *flash point* del biodiesel oscila entre los 160-180 °C [11] y se lo define como *la menor temperatura a la cual se vaporiza en cantidad suficiente como para formar con el aire una mezcla capaz de inflamarse instantáneamente en presencia de una llama*. El punto de combustión es la menor temperatura a la cual continúa ardiendo por sí solo y su valor aproximado es de 10 a 15 °C por encima del de inflamación. Durante la experiencia, llegado al p.c. se levanta rápidamente el termómetro, se tapa el crisol para sofocar la llama y una vez frío, se desecha su contenido sobre aserrín. La metodología es aplicable a otros combustibles, es muy sencilla, el termómetro no se daña, pero requiere práctica en el marco de las debidas normas de seguridad.

Sin lugar a dudas, el ensayo más gratificante, es la posibilidad de comprobar el funcionamiento de un motor pequeño de ciclo diesel con el propio biodiesel obtenido por los alumnos, esto los motiva en el aprendizaje y genera nuevas instancias de experimentación.

Grado de acidez (GA): indica el % de ácidos grasos contenidos en el aceite o grasa animal, expresado generalmente como % de ácido oleico:

$$\% \text{ AGL (ácido oleico)} = \frac{\text{mL NaOH} \times 0,1 \text{ N} \times 28,2}{\text{peso de la muestra}}$$

Índice de acidez (IA): expresa el peso, en mg de hidróxido potásico necesario para neutralizar un gramo de materia grasa

$$\text{IA} = \% \text{ AGL} \times 1,99$$

Figura 3. Ecuaciones que permiten calcular el Grado de acidez (GA) y el Índice de acidez (IA) de aceites y grasas tanto vegetales como animales.

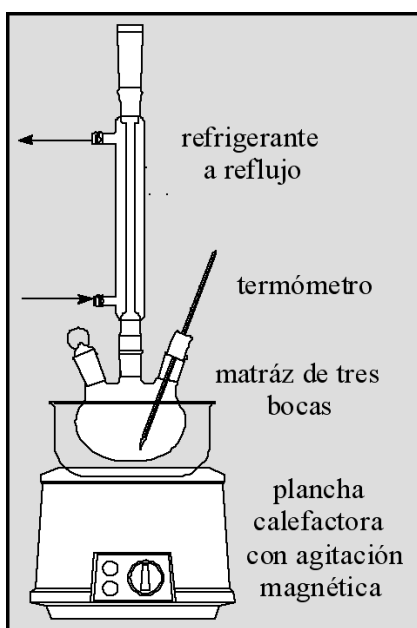


Figura 4. Montaje experimental para llevar a cabo la reacción de transesterificación. Es imprescindible realizarlo bajo campana.

ANÁLISIS Y PARAMETROS DE CALIDAD PARA EL BIODIESEL

Se propone que los alumnos, una vez obtenido el biodiesel a partir de diferentes tipos de aceites, efectúen los ensayos y contrasten sus propios resultados con los descritos en la Tabla 2, estos son los parámetros de calidad que, a nuestro juicio, pueden ser fácilmente realizados en un laboratorio de enseñanza secundaria. Los materiales y procedimientos pueden ser consultados en Internet, [14] al igual que las demás especificaciones técnicas exigidas en Argentina. [15] Para la determinación del punto de inflamación, como la norma establece la utilización de un dispositivo especial (método en copa cerrada), se propone efectuarlo mediante un procedimiento semejante al método Cleveland o de copa abierta, que si bien, proporciona valores aproximados,

Tabla 2. Especificaciones técnicas y normas de ensayo para el biodiesel puro según Res. 271/96 de la Secretaría de Energía. República Argentina.

Parámetro	Método	Valor	Unidad
Densidad	ASTM D1298	0,875-0,900	g/cm ³
Viscosidad cinemática 40°C	ASTM D 445 IRAM IAP A6597	3,5 – 5	centistokes
Alcalinidad	ASTM D 664	0,5 máx.	mg KOH/g
Contenido de H ₂ O y sedimento	ASTM D 1796	0,05 máx.	% volumen
Punto inflamación	ASTM D 93	100 °C mínimo	°C

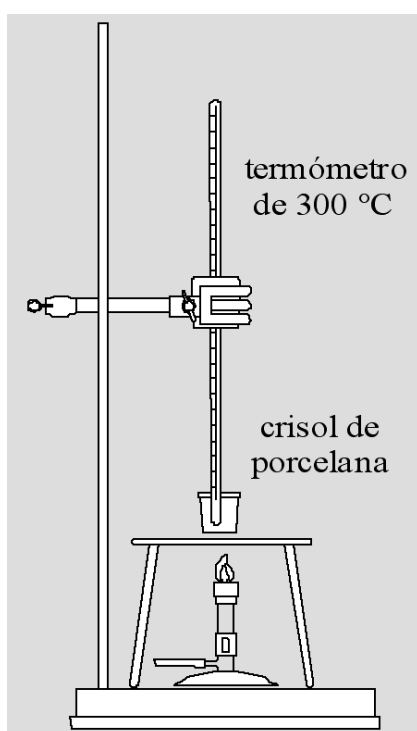


Figura 5. Montaje del dispositivo para determinar los puntos de inflamación y de combustión según el principio del método Cleveland o de copa abierta. Es imprescindible realizarlo bajo campana.

IMPLICACIONES DIDACTICAS

Recientemente, ADEQRA (Asociación De Educadores en Química de la República Argentina) nos ha reenviado un interesante correo electrónico sobre el problema de la disposición final del aceite de freír usado domiciliario, en este sentido, pensamos que el trabajo propuesto, dentro de un progra-

ma de gestión de residuos, no solo aporta una posible solución al problema, sino que además, es de una indiscutible solidez como para planificar y desarrollar actividades en química orgánica, desde la perspectiva del desarrollo sostenible.

Intentamos proporcionar al docente, los fundamentos necesarios para que adquiriera una postura más crítica hacia las múltiples recetas del tipo "hágalo usted mismo" que abundan especialmente en Internet, y que hacen pensar que la fabricación de biodiesel es algo sin mayores justificaciones que mezclar sustancias y calentar, en torno a imprecisas normas de seguridad.

Sabemos de la creatividad de nuestros colegas, por eso estamos convencidos que la información proporcionada en este artículo, podrá ser utilizada y reformulada a través de diferentes estrategias factibles de implementar tanto en el aula como en el laboratorio de docencia.

En la reacción de transesterificación interviene diferentes variables operativas que posibilitan la planificación por parte del docente, de actividades más abiertas, del tipo investigativo como la sugerida en la Figura 6. [17] Dentro de este contexto, propiciar que los alumnos realicen un análisis cualitativo del problema, lo delimiten, formulen hipótesis, diseñen y ejecuten sus propios experimentos y puedan analizar los resultados guiados continuamente por el docente,

no solo permite dotar de significado a la experiencia sino que, además, permiten su inmersión en actividades más coherentes con la actual concepción epistemológica de la ciencia y del trabajo científico.

Un municipio desea reciclar el aceite comestible usado que desechan los comedores comunitarios de varios distritos y, la materia grasa que, como desperdicio, pueden suministrar dos frigoríficos bovinos. Para la producción de un combustible alternativo como el Biodiesel ¿Qué situación ofrecerá mayores rendimientos y calidad de producto, producirlo a través del aceite usado, de la grasa animal o de una mezcla entre ambos?

Figura 6: Ejemplo de un problema de investigación para llevar a cabo en pequeños grupos cooperativos.

La posibilidad de analizar la calidad del biodiesel a través de diversas técnicas de laboratorio, propicia la integración de contenidos y el hábito de pensar estratégicamente, fomentando habilidades de pensamiento basadas en conocimientos concretos que permitan a los estudiantes, tomar decisiones ante nuevas y diferentes situaciones. El contrastar los datos obtenidos con estándares de calidad normalizados, fomenta el juicio crítico de los resultados y de la metodología utilizada.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. José María Encinar de la Universidad de Extremadura. España, por su generoso aporte técnico, a la Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI) por la beca otorgada al Lic. Torossi para realizar estudios de doctorado en el Dpto. Didáctica de las Ciencias Experimentales de la Universidad Complutense de Madrid. España, y a la Dra. Lydia Galagovsky por invitarnos a participar de esta nueva y valiosa sección de la revista *Industria & Química*.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] P. Del Río, A. Alvarez, *Infancia y Aprendizaje*, 1992, 59-60, 43-61
- [2] F. Torossi, *An. Quim.* 2006, 102 (3), 43-49.
- [3] P. Bruice, *Organic Chemistry*, 3rd Edition. Prentice-Hall. USA. 2001
- [4] L. J. Ferreiro, *Residuos*, 2004, 81, 110 – 116.
- [5] R. Alcántara, J. Amores, L. Canoira, E. Hidalgo, *Biomasa Bionergy*. 2000, 18 (6), 515-527.
- [6] H. Fukuda, A. Kondo, H. Noda, *J. Bioscience Bioengineering*. 2001, 92 (4), 405-416.
- [7] E.W. Eckey, *J. Am. Oil Chem. Soc.* 1956, 33, 575-579.
- [8] A. Tomasevic, S. Siler-Marinkovic, *Fuel Processing Technology*, 2003, 81, 1-6
- [9] F. Ma, M. Hanna, *Bioresource Technology*, 1999, 70 (1), 01-15.
- [10] Y. Zhang, M. Dubé, D. McLean, *Bioresource Technology*. 2003, 89 (1), 01 – 16.
- [11] J. Encinar, J. González, A. Rodríguez, *Ind. Eng. Chem. Res.* 2005, 44. 5491-5499
- [12] R. Glass, *Lipids*. 1971, 6, 919.
- [13] D. Jacobs, D. Adams. *Used frying oil to Diesel*. C.T. U. South Africa. 2001.
- [14] National Renewable Energy Laboratory, *Biodiesel Analytical Methods*. USA .2004. Se puede encontrar en: <http://www.nrel.gov/docs/fy04osti/36240.pdf>
- [15] Resolución 271/06. Secretaría de Energía. Argentina. 2006. Se puede encontrar en: <http://www.fecra.org.ar/normativas/pdf/186.pdf>
- [16] O. Ferré, L. Sánchez, *Combustibles, Tensioactivos y Adhesivos*. Conicet. Argentina. 1998
- [17] S. Blanco, F. Torossi, G. Cian. *Ed. en la Quim.* 2005, 11 (3), 19-29.



Algunas razones para asociarse de manera institucional, profesional o estudiante.

- Integrar una Sociedad que defiende y se preocupa por los derechos profesionales de los químicos y de las empresas asociadas.
- Colaborar con una Institución de 94 años dedicada a fomentar el desarrollo de la Química en todas sus áreas y vinculada a sociedades químicas del exterior tales como: American Chemical Society (ACS), Internacional Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) entre otras.
- Disponer de una biblioteca que satisfaga todas las necesidades de información en temas químicos y afines.
- Acceder a búsquedas en bases de datos nacionales e internacionales a través del Servicio de Información en Línea - SIL.
- Asistir a los cursos de capacitación que organiza la AQA abonando aranceles preferenciales.
- Recibir en forma gratuita la Revista Industria y Química y The Journal of the Argentine Chemical Society – JACS – (ex Anales de la AQA).
- Recibir mensualmente el Boletín Electrónico por e-mail y estar informado con las novedades de último momento sobre: Congresos , Simposios, Charlas, Cursos, Becas y diferentes eventos.
- Integrar la bolsa de trabajo ya sea como empresa solicitando personal o dejando el curriculum y poder así postularse para los pedidos laborales.

Tenemos más beneficios para usted, consultemos!

Asociación Química Argentina: Sánchez de Bustamante 1749 (C1425DUI) Buenos Aires
Tel/Fax: (011) 4822-4886 aqa@aqa.org.ar ; www.aqa.org.ar

Estimados Socios de la AQA.: estamos haciendo un relevamiento de nuestra base de datos y solicitamos que nos hagan llegar sus direcciones de E-mail (si no están incluidas en la misma) para que puedan, de esta manera, recibir el Boletín Electrónico, notificación de cursos que se dictan en nuestra Sede y demás información.

Pueden hacerla llegar a: Secretaría AQA 4822-4886 o aqa@aqa.org.ar