

EL APRENDIZAJE BASADO EN PROBLEMAS COMO ESTRATEGIA PARA EL CAMBIO METODOLÓGICO EN LOS TRABAJOS DE LABORATORIO

Juan-Antonio Llorens-Molina

Departamento de Química, Escuela Técnica Superior del Medio Rural y Enología, Universidad Politécnica de Valencia, Camino de Vera s/n, 46021 Valencia, España

Programa de la asignatura

Programa de teoría:

Parte introductoria: Unidad 1: "Introducción a la química orgánica, interpretación de las propiedades físicas desde la estructura molecular"; unidad 2: "Las reacciones orgánicas: aspectos generales y clasificación"; unidad 3: "Hidrocarburos, el petróleo, procesos petroquímicos, normas de formulación y nomenclatura"; unidad 4: "Isomería".

Estudio específico de las principales funciones orgánicas: Unidad 5: "Alquenos y alquinos, polienos, polímeros sintéticos de adición"; unidad 6: "Hidrocarburos aromáticos"; unidad 7: "Derivados halogenados, reacciones de sustitución nucleófila y eliminación y sus mecanismos"; unidad 8: "Alcoholes, fenoles, éteres y epóxidos"; unidad 9: "Aldehídos y cetonas"; unidad 10: "Ácidos carboxílicos y sus derivados"; unidad 11: "Compuestos nitrogenados".

Programa de prácticas:

(1) Introducción. Manejo de modelos moleculares; (2) Determinación del contenido en azúcares de la algarroba mediante un método refractométrico. Determinación del contenido en cafeína de té por extracción líquido-líquido, (3) Obtención de aceites esenciales de plantas aromáticas mediante destilación por arrastre de vapor de agua (Equipo Clavenger); (4) Determinación del contenido en grasa del cacahuete mediante extracción sólido-líquido con equipo Soxhlet; (5) Obtención de jabón y biodiesel. Reacciones de saponificación y transesterificación; (6) Síntesis y purificación del ácido acetilsalicílico; (7) Separación e identificación de los componentes de la acidez fija del vino por cromatografía sobre papel.

Problemas experimentados a lo largo de los tres cursos

Los criterios que dieron lugar a la eliminación de ciertos problemas tras el primer curso fueron:

(1) La escasa aportación del problema al contenido de la asignatura, bien por su excesiva complejidad (problemas 10 y 11) o por la pobreza teórica de su desarrollo, al dar lugar a simples comprobaciones experimentales (problemas 9 y 13); (2) Dificultad en el tratamiento experimental, ya que ciertas técnicas no admiten simplificaciones que sean compatibles con resultados claros que permitan abordar el problema con el rigor necesario (10, 11, 12); (3) En otros casos (problemas 8 y 14), la dificultad radica en la propia formulación del problema, ya que da lugar a un planteamiento excesivamente puntual que no exige al grupo un desarrollo posterior de la suficiente entidad. Por otra parte, en algunas de las actividades el primer año el grado de conexión con la vida real y el carácter multidisciplinar no mostró ser lo suficientemente evidente y, de hecho, fueron eliminadas (8, 13 y 14) o reformuladas (la 16 procede de la 6)

Descripción de un ejemplo acerca de la obtención de biodiesel a partir de residuos de grasas domésticas

Actividad inicial (aspectos explícitos)

El escenario del problema es la hipotética creación por parte

del grupo de estudiantes de una empresa destinada a la obtención de biodiesel a partir de residuos de grasas domésticas. La posterior delimitación del problema va dirigida hacia la estimación aproximada de la entalpía de combustión del biodiesel obtenido como característica especialmente relevante en cuanto a su uso como combustible en locomoción.

Los principales retos planteados al alumnado son: (1) identificar las principales variables que permiten evaluar la utilidad de un combustible para automoción; (2) proponer y utilizar un método basado en una aplicación informática sencilla para el cálculo de dichas variables; (3) proponer y desarrollar un proceso experimental a escala de laboratorio para obtener biodiesel a partir de residuos domésticos de grasas y evaluar su rendimiento; (4) valorar las dificultades y posibles alternativas para la puesta en marcha de un proyecto basado en la fabricación y comercialización de este combustible. Puede accederse a la actividad inicial propuesta a través del siguiente enlace: <https://poliformat.upv.es/access/content/user/19877419/Biodiesel09.doc>

Guía para la puesta en marcha y desarrollo de la actividad (aspectos implícitos).

Consiste en el conjunto de reflexiones que debe servir de guía al profesorado para conducir la entrevista inicial; en definitiva, se trata de prever los recursos que debemos tener preparados para que, fruto de esta primera discusión, surja un primer plan de trabajo para el desarrollo y resolución del problema. Estas reflexiones, tal como se puede apreciar en la Figura 1S, constituyen el inicio del proceso de autorregulación-*feed-back* que tiene lugar a lo largo de la actividad.

Breve descripción de otros ejemplos de actividades experimentadas

Para expresar el significado y dinámica de esta propuesta, puede ser útil describir brevemente otras actividades representativas. Por ejemplo, la investigación sobre los factores que determinan la amplia variabilidad en los precios de aceites esenciales (Problema 3) es de gran relevancia, ya que la consideración del origen geográfico, factores edafoclimáticos, variedad botánica, la diversidad de quimiotipos, el tipo de cultivo, ecológico o convencional, etc., aportan un enriquecedor enfoque multidisciplinar. Por otra parte, tal como está planteado el problema, la influencia de la composición química en el precio no se refiere solamente a la mayor o menor presencia de ciertos compuestos que en los aceites esenciales de origen natural afectan decisivamente a su precio (el linalool en el aceite de lavanda, por ejemplo), sino que también se refiere a la comercialización de disoluciones de dichos aceites en disolventes (polialcoholes, generalmente), muy populares al hallarse a la venta habitual en muchos comercios y bazares. Ello permite a los estudiantes abordar problemas de interés profesional como la calidad de los productos y su normativa, el problema de las adulteraciones, etc.

Otra actividad cuyo desarrollo fue muy fructífero es la referida a la aplicación de productos naturales en el almacenamiento y conservación de las patatas (Problema 15). La búsqueda de alternativas naturales al tratamiento químico tradicional en el tratamiento post-cosecha de tubér-

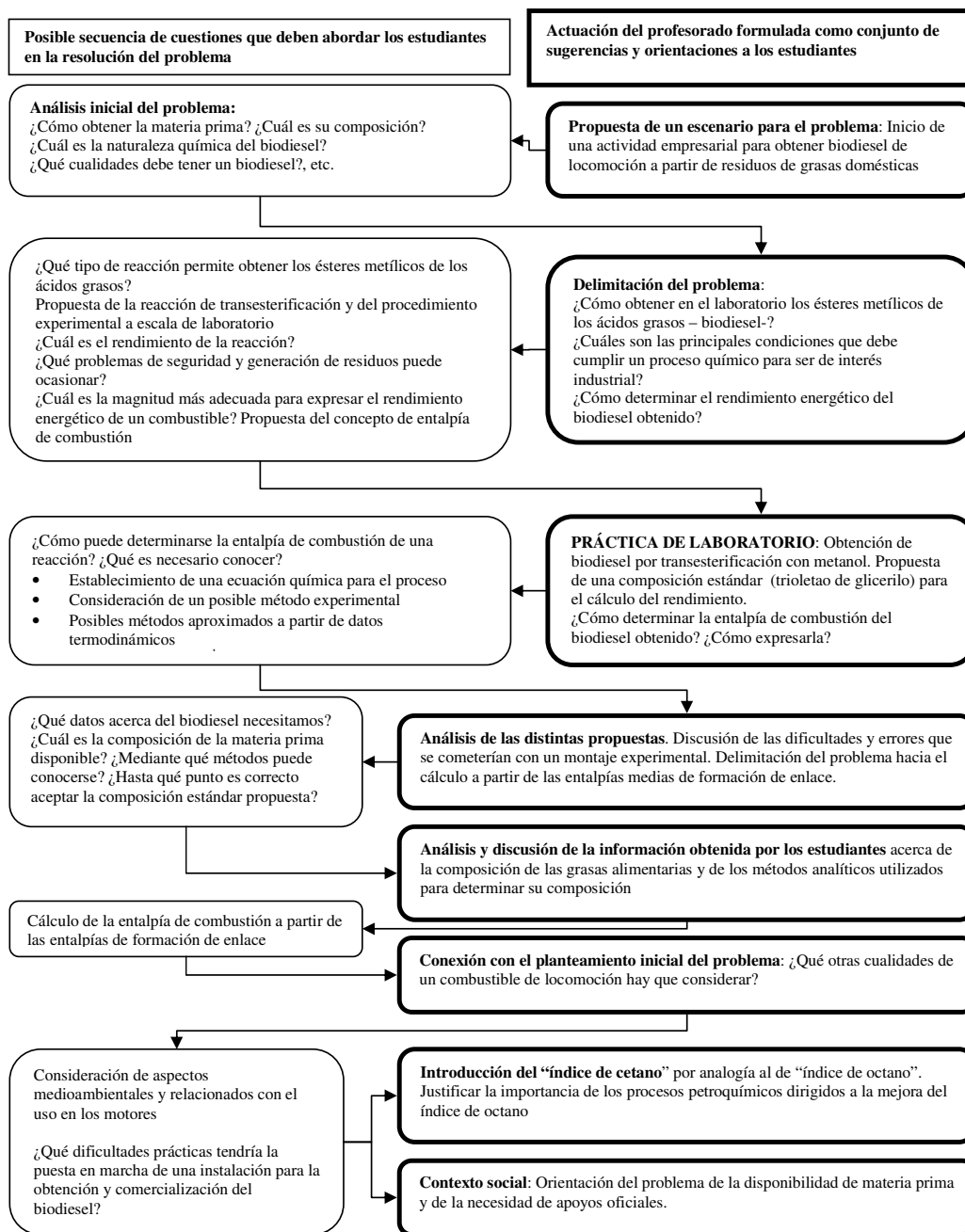


Figura 1S. Proceso de autorregulación y feed-back en el problema relacionado con la obtención de biodiesel

culos es fácilmente accesible en la red y conduce a la consideración de la actividad biológica de los aceites esenciales. La elección de la patata no es, ni mucho menos, irrelevante, ya que la información disponible en la red dirige a los estudiantes a un principio activo: la carvona, cetona terpénica, ópticamente activa, que bajo sus dos formas enantioméricas R y S, es particularmente abundante en los aceites esenciales de *Mentha spicata*, L. y *Carum carvi*, L., respectivamente. La importancia biológica de las posibles diferencias de actividad biológica entre enantiómeros es importante desde el punto de vista de las relaciones ciencia-técnica-sociedad (recordemos el problema de los efectos teratogénicos de la (S)-talidomida). En el marco de esta actividad, el diseño de un experimento para evaluar comparativamente la eficacia de los dos enantiómeros de la carvona plantea un conjunto de problemas que configuran todo un proceso de investigación dirigida: (1) cómo obtener el aceite esencial y verificar su composición; (2) cómo aplicar el aceite y con qué concen-

tración; (3) cómo cuantificar la germinación de los tubérculos; (4) cómo realizar el seguimiento y la aplicación analizando diferentes alternativas: una sola dosis inicial y estudiar el inicio de la germinación, tratamiento prolongado y estudiar su evolución. ..., etc.

El problema 5: “¿Contiene cafeína el “té descafeinado?” es en realidad la prolongación de una de las prácticas de laboratorio, pero exige al grupo que lo desarrolle una aproximación y evaluación comparativa, sobre todo, desde el punto de vista medioambiental, de los métodos de extracción industrial de la cafeína (extracción con diclorometano y CO₂ supercrítico) que al final deberán explicar brevemente al resto de sus compañeros; al mismo tiempo, les exige también buscar métodos de identificación basados en pruebas químicas sencillas y rápidas (en este caso, el *test* de la murexida, específico de la estructura de la purina). Ello incide en uno de los aspectos conceptuales básicos del curso: la relación entre reactividad y estructura.

La posibilidad de rentabilizar los residuos de la producción de la cera de abejas (problema 17) también mostró una gran potencialidad. Este problema fue originariamente una consulta profesional formulada al profesor por una empresa apícola, pero dados los conceptos y métodos implicados, pareció accesible a su tratamiento por los estudiantes. Y así fue en realidad, ya que consiguieron poner en juego, de manera autónoma, un protocolo experimental basado en la aplicación de técnicas aprendidas previamente en una de las prácticas (manejo del equipo Soxhlet), por otra parte, tuvieron que fundamentar dicho protocolo en la consideración del disolvente adecuado a la naturaleza apolar de la sustancia que debían extraer. También se observa en este caso cómo subyace en el problema otro de los aspectos conceptuales clave del curso: la relación estructura molecular-fuerzas intermoleculares-propiedades físicas. Al mismo tiempo, se halla presente, una vez más, la perspectiva multidisciplinaria, ya que el enfoque inicial del problema les obliga a considerar

la variedad de productos que puede haber en los residuos de la cera.

En otras ocasiones, lo más relevante no es tanto la resolución del problema en sí como algunos de los procesos implicados. Es lo que ocurre, por ejemplo, en el 8 (“¿Grasas saturadas o insaturadas?”). La aplicación de la reacción de adición electrofílica con Br_2 para determinar la presencia de insaturaciones es fácilmente identificada, ya que es una de las reacciones importantes del temario; sin embargo, como no se les proporciona dicho reactivo por motivos de seguridad, deben hallar, por sí mismos, recurriendo a los conocimientos previos del cuatrimestre anterior, un proceso para obtenerlo (el proceso al que finalmente se llega es consiste en acidificar una disolución de hipoclorito de sodio para obtener $\text{Cl}_2(\text{aq})$, hacer reaccionar éste con Br^- , oxidándolo a Br_2 que es extraído posteriormente con CCl_4)

Encuesta aplicada a los estudiantes para la evaluación de la actividad, con sus resultados (Tabla 2)

Tabla 1S. Enumeración de los problemas experimentados a lo largo de los tres cursos

Relación de problemas planteados el primer curso de experimentación		Problemas introducidos durante el segundo y tercer curso.
Se mantuvieron:	Se eliminaron:	
<p>1. Un producto aromatizante desconocido ¿Cómo podemos identificarlo y obtenerlo?</p> <ul style="list-style-type: none"> Análisis elemental de sustancias Ésteres. Propiedades de los ésteres Reacciones de esterificación 	<p>8. ¿Por qué hay plásticos rígidos y termoestables mientras que otros son flexibles y fáciles de moldear al calentarlos?</p> <ul style="list-style-type: none"> Relación estructura-propiedades Propiedades mecánicas y térmicas de los polímeros. Reacciones de polimerización. 	<p>15. ¿Cómo podemos prevenir el “grillado” de las patatas?</p> <ul style="list-style-type: none"> Tensoactividad y agentes emulsionantes Terpenos y derivados. Actividad biológica
<p>2. Estimación del calor de combustión de un biodiesel</p> <ul style="list-style-type: none"> Entalpías de reacción, combustión y formación de enlace Estructura de las grasas Reacciones de transesterificación. 	<p>9. ¿Qué ácido contiene el “agret” (<i>Oxalys pes-caprae</i>)?</p> <ul style="list-style-type: none"> Ácidos carboxílicos Cromatografía plana (papel y TLC) 	<p>16. Fabricación de macetas de plástico reciclado: ¿Podemos utilizar los residuos domésticos de plásticos?</p> <ul style="list-style-type: none"> Tipos de polímeros y técnicas sencillas para su reconocimiento. Reciclaje.
<p>3. ¿Por qué tanta diferencia de precio? Relación precio-composición en aceites esenciales empleados en aromaterapia</p> <ul style="list-style-type: none"> Grupos funcionales Terpenos y terpenoides Cromatografía de gases 	<p>10. El color de las flores</p> <ul style="list-style-type: none"> Pigmentos vegetales. Antocianinas. Estructura. Concepto de par conjugado ácido-base. pH. Indicadores ácido-base. 	<p>17. ¿Podemos optimizar el rendimiento en la obtención de cera de abejas tratando los residuos procedentes de su producción?</p> <ul style="list-style-type: none"> Extracción sólido-líquido Equipo Soxhlet. Estructura y solubilidad de las sustancias.
<p>4. ¿Cómo podemos distinguir aspirina y paracetamol?</p> <ul style="list-style-type: none"> Fenoles. Reconocimiento de fenoles. Reacciones de transferencia de grupo acilo. Identificación, aislamiento y aplicación de principios activos en la industria farmacéutica. 	<p>11. ¿Cómo actúa la saliva en los alimentos?</p> <ul style="list-style-type: none"> Catalisis. Enzimas. Hidratos de carbono. Reacciones de hidrólisis. Reconocimiento de azúcares reductores. Ensayos de Fehling y Benedict. 	<p>18. ¿Cuándo está madura la fruta?</p> <ul style="list-style-type: none"> Índice de madurez. Ácidos presentes en las frutas. Valoraciones ácido-base. Refractometría. °Brix.
<p>5. ¿Contiene cafeína el “té descafeinado”?</p> <ul style="list-style-type: none"> Procesos de extracción sólido-líquido y líquido-líquido. Estructura y reconocimiento de los alcaloides. 	<p>12. ¿Cómo puede medirse el grado de alcoholemia en un conductor?</p> <ul style="list-style-type: none"> Procesos redox y valoraciones. Influencia de la acidez. Reacciones de oxidación de alcoholes. 	
<p>6. Identificar para separar. Separar para reciclar</p> <ul style="list-style-type: none"> Estructura y propiedades de los polímeros más importantes. Polímeros de adición y condensación. Reconocimiento de polímeros. 	<p>13. ¿De qué tipo de sustancia se trata?</p> <ul style="list-style-type: none"> Reconocimiento de grupos funcionales mediante reacciones características. 	
<p>7. ¿Grasas saturadas o insaturadas?</p> <ul style="list-style-type: none"> Procesos redox. Características redox de los halógenos. Extracción líquido-líquido. Reacciones de adición electrofílica. 	<p>14. Nilón y Kevlar. ¿Cómo la estructura de la materia explica sus propiedades prácticas?</p> <ul style="list-style-type: none"> Fuerzas intermoleculares. Relación entre estructura de un polímero y propiedades mecánicas. Manejo de modelos moleculares 	

Tabla 2S. Encuesta aplicada para la evaluación de las actividades por los estudiantes

Categorías	05/06%	07/08%
1. Al asignar el trabajo, se proporcionó un documento escrito y se mantuvo una entrevista con el grupo. Estas orientaciones iniciales las consideras...		
a) Insuficientes. Fuimos incapaces de ponernos a trabajar.	3	7
b) Adecuadas. Obtuvimos la información justa para iniciar el análisis del problema.	97	93
c) Excesiva. Parte de la información la habríamos obtenido nosotros mismos	0	0
2. Durante la resolución del problema se ha procurado atender a los grupos de modo que su trabajo tuviera un elevado grado de creatividad y autonomía. ¿Cómo crees que se ha desarrollado realmente el trabajo?		
a) Ha sido como una receta. No se ha favorecido la autonomía e iniciativa del grupo.	0	0
b) Ha habido cierta autonomía e iniciativa, pero se ha proporcionado excesiva información y se han resuelto dudas y situaciones que hubiera superado el grupo.	5	7
c) La información y orientaciones proporcionadas han sido las adecuadas para desarrollar nuestro trabajo con un elevado grado de autonomía.	92	93
d) La información y orientaciones proporcionadas han sido insuficientes y nos hemos encontrado frecuentemente perdidos durante el desarrollo del problema.	3	0
3. El problema se planteó para ser desarrollado en equipo. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones refleja mejor el método de trabajo seguido en el grupo?		
a) El trabajo ha sido repartido y realizado individualmente, con muy poca colaboración	4	4
b) El trabajo ha sido repartido y realizado individualmente pero al menos, al principio y al final, hay un encuentro para unificar criterios, intercambiar información, etc.	21	35
c) El grupo siempre ha trabajado colectivamente.	75	61
4. Sobre el ritmo de trabajo:		
a) El problema fue analizado y desarrollado precipitadamente las dos últimas semanas de curso.	5	4
b) El trabajo comenzó a realizarse hace más de un mes, pero de una manera irregular.	68	76
c) El trabajo ha sido desarrollado de una manera constante y metódica (una sesión semanal como mínimo)	27	20
5. El tema desarrollado te ha parecido...		
a) Poco interesante. No ha aportado nada significativo a mi formación en la asignatura.	3	4
b) Interesante, pero ha aportado poco a la asignatura	31	11
c) En cuanto al programa del curso ha sido un apoyo, pero no me ha interesado demasiado	6	11
d) El tema me ha parecido interesante y ha contribuido a mejorar la comprensión y aprendizaje del algún aspecto de la asignatura.	60	74
6. El grado de conocimientos básicos para abordar el problema lo considero..		
a) Insuficiente. No he entendido términos y conceptos básicos.	3	4
b) Suficiente. El tema desarrollado está adaptado al nivel del curso.	97	92
c) El nivel ha sido bajo respecto a los contenidos del curso.	0	4
7. ¿Cómo valoras la contribución de este trabajo a la nota del curso:		
a) Insuficiente	14	0
b) Adecuada	83	89
c) Excesiva	3	11
8. La información utilizada ha sido obtenida de...		
a) Internet, principalmente	38	19
b) Manuales y libros de texto, principalmente.	0	12
c) Diversas fuentes: internet, libros, revistas, apuntes, etc.	62	69
d) Otras fuentes	0	0
9. El grado de motivación que has experimentado con esta forma de trabajar ha sido...		
a) Menor que hacía el resto de actividades de la asignatura: clases, autoevaluaciones, etc.	3	0
b) Similar	54	50
c) Mayor	43	50