

APRENDIZAJE BASADO EN PROBLEMAS Y CAMBIO METODOLÓGICO

Juan A. Llorens-Molina¹

Escuela Técnica Superior del Medio Rural y Enología
Departamento de Química. Universidad Politécnica de Valencia (España)

Resumen

El aprendizaje basado en problemas (ABP) goza de amplia tradición en la Enseñanza Superior como metodología adoptada institucionalmente en numerosas universidades del mundo. Además, también constituye un poderoso instrumento para la incorporación de metodologías activas en contextos educativos convencionales. Esta comunicación tiene como objetivo describir el proceso de integración de las prácticas de laboratorio en un curso introductorio de Química General y Orgánica, de tareas inspiradas en el ABP. También son discutidos los aspectos más decisivos y potencialmente conflictivos de su aplicación. Los resultados muestran como esta metodología permite una mejor contextualización de las prácticas, contribuyendo a establecer relaciones significativas con los contenidos de la asignatura, y favoreciendo la atención a las relaciones Ciencia-Técnica-Sociedad-Medio Ambiente. Asimismo, promueve el desarrollo de competencias como las capacidades de planificación y organización, búsqueda y selección de información, desempeño eficaz del trabajo cooperativo, etc., produciendo además un notable efecto dinamizador de la tutoría.

La evaluación realizada por el alumnado destaca como aspectos mejor valorados la potenciación del trabajo autónomo y la proximidad a problemas de interés social y profesional. Entre los aspectos más problemáticos destacan las dificultades de índole organizativa y el modo de integrar su evaluación en los criterios generales de la asignatura.

Palabras Clave: *ABP, prácticas, laboratorio, contexto, evaluación, tutoría, CTSA, colaborativo, cooperativo.*

1. Introducción

El aprendizaje basado en problemas (ABP), surgido en el campo de las ciencias médicas, puede considerarse actualmente una metodología ampliamente extendida a otros campos de conocimiento [1]. Como estrategia curricular institucional, el ABP puede ser concebido como eje vertebrador de todo el proceso de aprendizaje, tal como ocurre, por ejemplo, en las universidades de Aalborg (Dinamarca) o Samford (Reino Unido). Asimismo, también puede servir como principio orientador para la transformación de actividades convencionales como los clásicos ejercicios, problemas o trabajos de laboratorio en actividades de mayor riqueza y exigencia cognitiva, más útiles para el desarrollo de competencias de carácter metodológico y comunicativo. De este modo, su aplicación como instrumento para la introducción de metodologías activas ha sido objeto de numerosas investigaciones [2], [3], [4], [5], [6]. En los últimos años es notoria también la incorporación de las tecnologías de la información y la comunicación a este tipo de tareas mediante la utilización de recursos como las *webquests* y las herramientas de trabajo colaborativo *online* [7].

Esencialmente, el ABP trata de introducir al alumnado en el contexto de un problema, lo más vinculado posible a la realidad social o profesional, de modo que deba planificar, mediante un trabajo cooperativo y bajo la supervisión del profesorado, un proceso de resolución que implica, según Northwood et al. [3], las siguientes etapas:

1. Exploración del problema y generación de hipótesis
2. Identificación de aquellos conocimientos necesarios para abordarlos y de las fuentes de información pertinentes.

3. Búsqueda de información y estudio independiente del tema.
4. Análisis crítico y discusión en grupo sobre los conocimientos adquiridos.
5. Aplicación del conocimiento a la resolución del problema.
6. Reflexión sobre el proceso y realimentación.

Desde un punto de vista teórico, en el ABP pueden reconocerse profundos vínculos con algunos de los aspectos más relevantes de la psicología cognitiva. Así, el papel del conocimiento previo es esencial ya que determina decisivamente el volumen y la naturaleza del conocimiento que el alumno va integrando en su proceso de aprendizaje, siendo este conocimiento previo continuamente activado y condicionado a medida que se avanza en el análisis y resolución del problema. De este modo, el aprendizaje puede contemplarse como la construcción de un entramado conceptual progresivamente más rico y complejo, que exige la incorporación de nuevas herramientas metodológicas, así como el desarrollo de actitudes y valores que le proporcionen sentido desde una perspectiva educativa más amplia.

El ABP también puede considerarse una concreción de la orientación socioconstructivista del aprendizaje. En efecto, el alumnado asume responsabilidades en la identificación de aquello que necesita aprender y en la búsqueda de estrategias para obtener y aplicar los conocimientos. Además, este proceso tiene lugar en el marco de la interacción social con sus iguales y con el profesor, cuyo papel va aproximándose progresivamente al de facilitador y creador del contexto adecuado para el aprendizaje autónomo de sus alumnos.

El aprendizaje basado en problemas también constituye un recurso metodológico idóneo para implicar al alumnado en tareas relacionadas con los procesos característicos de la actividad científica. El hecho de que este tipo de actividades posea generalmente un importante grado de apertura, sin dar lugar necesariamente a una solución unívoca, las aproxima notablemente al modo en que se produce realmente el trabajo científico. En este sentido, la metáfora del investigador novel como representación de una concepción del aprendizaje coherente con los métodos de la ciencia [8] puede encontrar en el ABP un marco privilegiado para su puesta en práctica.

Por otra parte, El ABP contribuye al desarrollo de las competencias vinculadas a la construcción del Espacio Europeo de Educación Superior. Como punto de partida para la adaptación de nuestras materias al EEES podemos inspirarnos en las propuestas del documento: *Tuning Educational Structures in Europe* [9]. Algunas de estas competencias son:

1. Desarrollo de la autonomía y de la capacidad de autorregulación. El alumnado tiene la oportunidad de decidir qué necesita aprender para afrontar una situación problemática.
2. Adquisición de habilidades comunicativas y relacionadas con el trabajo cooperativo.
3. Habilidades relacionadas con la búsqueda, procesado y selección de la información.
4. Capacidad para contextualizar el contenido de las asignaturas, incorporando como aspecto esencial del currículo las relaciones Ciencia-Tecnología-Sociedad-Medio Ambiente.

En el campo de la química existen interesantes aportaciones y materiales de aprendizaje como el manual de Lehman, J. W. [10], dentro de un enfoque experimental de la química orgánica y bioquímica. Algunas aportaciones muestran ejemplos de problemas de carácter más puntual y muy centrados en el contexto académico [5], [11] mientras que otras se refieren a tareas más vinculadas a situaciones de interés social y profesional, que desde el punto de vista metodológico traen consigo una ampliación del rango de competencias involucradas. [12], [13].

2. Objetivos.

En un reciente trabajo [14] ya se abordó la necesidad de una profunda renovación en las prácticas de laboratorio; en primer lugar, en cuanto a su contextualización, tanto por lo que respecta al resto de contenidos de las asignaturas, como en lo referente a las relaciones Ciencia-Técnica-Sociedad-Medio Ambiente. En segundo lugar, en cuanto a su metodología, incorporando destrezas de elevado nivel cognitivo propias del trabajo científico: formulación y contrastación de hipótesis, diseño de experimentos, etc.

El objetivo fundamental de esta investigación ha sido la integración del programa habitual de prácticas de la asignatura, centrado en la introducción de técnicas básicas de laboratorio, en el marco de situaciones problemáticas abiertas que favorezcan el desarrollo de las siguientes competencias:

1. Planificación y organización de tareas diversas y de cierta complejidad, en un contexto de trabajo cooperativo.
2. Adquisición y selección de la información, tanto de carácter teórico como práctico, de modo que la adquisición de habilidades y métodos experimentales surja como una necesidad en el proceso de resolución del problema.
3. Desarrollo de conductas autónomas en los estudiantes, tanto referidas al desempeño de las tareas de laboratorio, como a la potenciación de su actividad metacognitiva, de modo que ante cualquier dificultad sean capaces, de poner en juego los conocimientos necesarios para superarla, accediendo a las fuentes de información adecuadas. [15], [16]
4. Integración las actividades prácticas en el contexto social y profesional de los estudiantes, tratando de relacionarlas con aspectos significativos y relevantes de su titulación.

Dado que, por las normas de la asignatura, los alumnos repetidores pueden no realizar de nuevo las prácticas de laboratorio, las actividades basadas en el ABP dirigidas a ellos han estado enfocadas a aspectos relevantes del currículo desde el punto de vista social y profesional, no vinculados necesariamente a ninguna de las siete prácticas de laboratorio, aunque generalmente han incorporado algún tipo de tarea experimental.

3. Descripción de la propuesta objeto de investigación.

3.1. Contexto. Problemas planteados a lo largo de la experimentación.

Esta investigación se enmarca en la docencia ordinaria de la asignatura Fundamentos Químicos de la Ingeniería del primer curso de la Escuela Técnica Superior del Medio Rural y Enología (Explotaciones Agropecuarias), concretamente en el cuatrimestre (6 créditos) dedicado a la introducción de la química orgánica. Ha sido desarrollada durante los tres últimos cursos, incorporando progresivas innovaciones como consecuencia de la realimentación obtenida. Desde el punto de vista metodológico, la asignatura se desarrolla mediante sesiones que integran periodos de exposición y discusión relativamente breves, con actividades individuales y colaborativas basadas en la realización de ejercicios de aplicación y en el empleo de la técnica del *ConceptTest* [17].

Las prácticas de laboratorio han estado basadas en la introducción de técnicas de experimentales relacionadas principalmente con la extracción y purificación de sustancias, así como en la ilustración de algunas reacciones orgánicas importantes. Concretamente, son las siguientes:

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.

Estas prácticas han sido realizadas por parejas a lo largo del cuatrimestre en sesiones de 2 h, de las cuáles los primeros 20-30 minutos fueron dedicados a exponer los objetivos y fundamentos teóricos, así como aspectos concretos de tipo técnico: técnicas básicas de laboratorio, uso de instrumentos, etc. A lo largo de los tres cursos que ha durado la investigación, se han ido incorporando nuevas actividades prelaboratorio para sustituir dicha exposición; concretamente se han sido introducidas actividades previas constituidas por un *polimedia* y un test *online* a través de la herramienta “exámenes” de la plataforma *PoliformaT* [18].

Como rasgos definitorios de la situación de partida, puede decirse que uno de los problemas característicos fue la baja implicación generalmente observada en el alumnado, que se manifestaba en el escaso uso de la tutoría, así como un pobre y heterogéneo nivel de conocimientos previos. La tabla 1a muestra los problemas planteados a lo largo del primer curso de experimentación. En la tabla 1b se enumeran los que se decidió eliminar por las causas que se enunciarán a continuación. La tabla 1c muestra los introducidos durante el segundo y tercer curso.

Tabla 1a. Relación de problemas planteados el primer curso de experimentación

Enunciado de las actividades	Vinculación a los contenidos del curso (teoría y prácticas)
1. Un producto aromatizante desconocido ¿Cómo podemos identificarlo y obtenerlo?	Análisis elemental de sustancias Ésteres. Propiedades de los ésteres. Reacciones de esterificación y transesterificación.
2. Estimación del calor de combustión de un biodiesel	Entalpías de reacción y de combustión. Entalpías de formación de enlace. Estructura de las grasas Reacciones de transesterificación.
3. ¿Por qué tanta diferencia de precio? Relación precio-composición en aceites esenciales empleados en aromaterapia	Grupos funcionales Terpenos y terpenoides Cromatografía de gases
4. ¿Cómo podemos distinguir aspirina y paracetamol? ¿Cómo y para qué se emplea la efervescencia en la formulación de medicamentos?	Fenoles. Reconocimiento de fenoles. Reacciones de transferencia de grupo acilo. Identificación, aislamiento y aplicación de principios activos en la industria farmacéutica.
5. ¿Contiene cafeína el “té descafeinado”?	Procesos de extracción sólido-líquido y líquido-líquido. Estructura y reconocimiento de los alcaloides.
6. ¿Por qué hay plásticos rígidos y termoestables mientras que otros son flexibles y fáciles de moldear al calentarlos?	Relación estructura propiedades en los materiales. Propiedades mecánicas y térmicas de los polímeros. Polimerización por condensación. Desarrollo histórico de los polímeros.
7. Identificar para separar. Separar para reciclar	Estructura y propiedades de los polímeros más importantes. Polímeros de adición y condensación. Técnicas sencillas de reconocimiento.
8. ¿Grasas saturadas o insaturadas?	Procesos redox. Características redox de los halógenos. Extracción líquido-líquido. Reacciones de adición electrofílica.

Tabla 1b Problemas eliminados tras el primer año de experimentación

9. ¿Qué ácido contiene el “agret” (<i>Oxalys pes-caprae</i>)?	Ácidos carboxílicos Cromatografía plana (papel y TLC)
10. El color de las flores	Pigmentos vegetales. Antocianinas. Estructura. Concepto de par conjugado ácido-base. pH. Indicadores ácido-base.
11. ¿Cómo actúa la saliva en los alimentos?	Catálisis. Enzimas. Hidratos de carbono. Monosacáridos, disacáridos y polisacáridos. Reacciones de hidrólisis. Reconocimiento de azúcares reductores. Ensayos de Felhing y Benedict.
12. ¿Cómo puede medirse el grado de alcoholemia en un conductor?	Procesos redox y valoraciones. Influencia de la acidez. Reacciones de oxidación de alcoholes.
13. ¿De qué tipo de sustancia se trata?	Reconocimiento de grupos funcionales mediante reacciones características.
14. Nilón y Kevlar. Dos ejemplos de cómo la estructura de la materia explica sus propiedades prácticas.	Fuerzas intermoleculares. Relación entre estructura de un polímero y propiedades mecánicas. Manejo de modelos moleculares

Tabla 1c Problemas incorporados durante el segundo y tercer año de experimentación

15. ¿Cómo podemos prevenir el “grillado” de las patatas?	Tensoactividad y agentes emulsionantes. Terpenos y derivados. Actividad biológica.
16. Fabricación de macetas de plástico reciclado: ¿Podemos utilizar los residuos domésticos de plásticos?	Tipos de polímeros y técnicas sencillas para su reconocimiento. Procesos de reciclaje.
17. ¿Podemos optimizar el rendimiento en la obtención de cera de abejas tratando los residuos procedentes de su proceso habitual de producción?	Extracción sólido-líquido. Manejo del equipo Soxhlet. Factores estructurales que afectan a la solubilidad de las sustancias.
18. ¿Cuándo está madura la fruta?	Índice de madurez. Ácidos presentes en las frutas. Valoraciones ácido-base. Refractometría.

Los criterios que dieron lugar a la eliminación de ciertos problemas en cursos siguientes fueron:

a) La escasa aportación del problema al contenido de la asignatura, bien por su excesiva complejidad (10,11) o por la pobreza teórica de su desarrollo, al dar lugar a simples comprobaciones experimentales (13)

b) Dificultad en el tratamiento experimental, teniendo en cuenta que éste no podía incorporarse al horario de prácticas, por lo que debían ser manipulaciones rápidas y sencillas, realizables durante el horario de tutoría. (10, 11 y 12). En este sentido es importante indicar que un obstáculo importante es que ciertas técnicas no admiten simplificaciones que sean compatibles con resultados claros que permitan desarrollar el problema (9, por ejemplo)

c) En otros casos (14), el problema puede consistir en que la propia formulación del problema dé lugar a un planteamiento excesivamente puntual que no exija al grupo desarrollarlo más.

3.2. Principios generales del diseño.

3.2.1. Algunos aspectos clave en la aplicación del ABP en contextos de aprendizaje convencionales.

La propuesta planteada ha estado fundamentada en tres elementos básicos, que pueden ser considerados piezas clave en la aplicación del ABP en un contexto de enseñanza convencional:

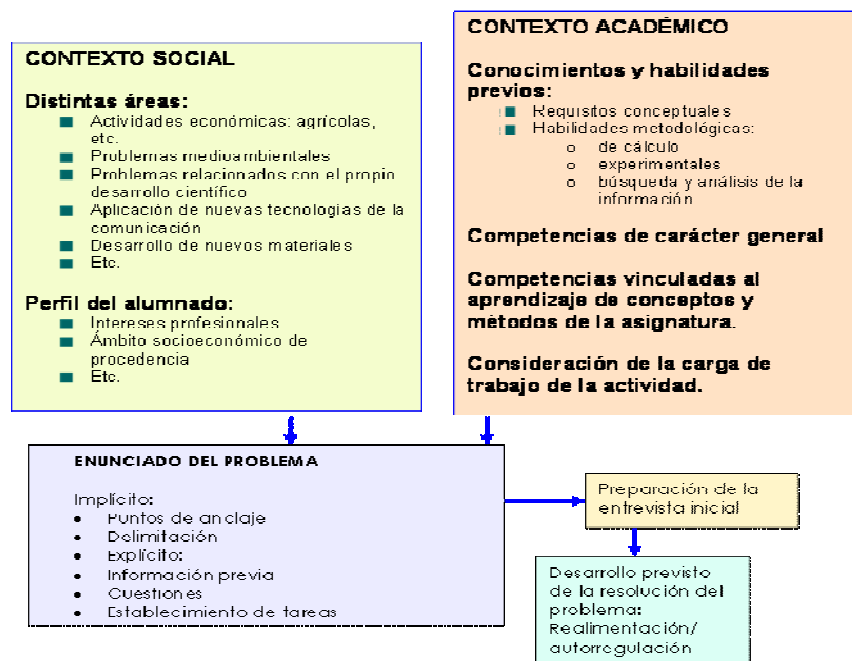
1. El lanzamiento y puesta en marcha de la actividad.
2. Su gestión, por lo que respecta principalmente a la necesidad de regular la realimentación proporcionada, de modo que, por una parte, no se llegue a un estado de bloqueo y confusión en el trabajo del alumnado, y por otra, no se proporcione información y orientaciones que el grupo sea capaz de adquirir de modo autónomo mediante una tarea cooperativa.
3. La evaluación de la actividad y su contribución a la calificación de la asignatura.

3.2.2. La puesta en marcha de la actividad

En cuanto a la puesta en marcha de la actividad son varios los factores determinantes: En primer lugar, la selección y diseño de los problemas, así como los criterios para su asignación a los grupos de trabajo. En segundo lugar, la propuesta de un enunciado adecuado del problema exige un análisis previo en profundidad de los aspectos del currículo relevantes desde el punto de vista social y profesional, por una parte, y del contexto académico, por otra. Esta primera formulación del problema que se dirige al alumnado está fuertemente condicionada además por la estrategia adoptada y los recursos empleados para iniciar la actividad. De hecho, ha sido probablemente el aspecto más controvertido y sometido a revisión a lo largo de los tres años de experimentación.

Algunos criterios para elaborar el enunciado del problema están expuestos en el diagrama de la figura 1. En él cabe destacar la necesidad de conjugar de modo equilibrado los contextos académico (ligado al currículo) y social (vinculado al perfil profesional y a las relaciones CTSA). Por otra parte, en cuanto a la concreción del problema, pueden distinguirse dos aspectos: los explícitos, que constituirán el enunciado proporcionado como punto de partida para el trabajo del alumno, y los implícitos, relacionados con todas aquellas consideraciones que el profesorado debe tener en cuenta al comienzo de la actividad (entrevista inicial o *webquest* con entrevista posterior) y que se refieren, principalmente, a los puntos de anclaje en la experiencia previa del alumno, cotidiana o académica, y en una hipótesis inicial acerca de las dificultades con que previsiblemente irán enfrentándose los alumnos a lo largo de la resolución del problema. Este análisis, que será ilustrado más adelante con un ejemplo, debe servir para establecer el proceso de realimentación/autorregulación que guiará a profesores y alumnos durante la actividad. Asimismo, debe servir también para delimitar el alcance y objetivos finales del problema planteado.

Fig. 1 Puesta en marcha de una actividad basada en el ABP



Se propone a continuación un ejemplo relacionado con la síntesis de biodiesel en el primer curso de experimentación.

Formulación del problema (aspectos explícitos)

A partir de los aceites usados puede obtenerse biodiesel. Actualmente este combustible ya es utilizado en el transporte público. Suponed que vais a montar una empresa para la reutilización de aceites y grasas usados, fabricando biodiesel. El problema planteado consiste en:

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 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.

Guía para la puesta en marcha 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. Por supuesto, estas reflexiones no deben plantearse necesariamente de modo conjunto en la primera toma de contacto con el grupo; es más, tal como se podrá apreciar en la tabla 2, enlazan con todo el proceso de autorregulación-realimentación que tiene lugar a lo largo de toda la actividad. Algunas de estas reflexiones iniciales serían, en este caso concreto:

1. ¿Qué características del combustible es necesario conocer para evaluar las posibilidades de su explotación? ¿Qué propiedades físicas o químicas sería necesario determinar? ¿Existen conocimientos previos útiles para introducir el concepto de entalpía?
2. ¿Qué métodos experimentales pueden emplearse para medir dichas magnitudes? Si no se dispone de los medios experimentales para realizar esta medida, ¿Cómo plantear la necesidad de acudir a cálculos aproximados basados en los valores de las entalpías medias de formación de enlace?
3. ¿Qué otro método, aunque sea aproximado, puede permitirnos calcular esa magnitud a partir de datos termoquímicos que puedan consultarse en la bibliografía?
4. ¿Qué información fundamental necesitan los alumnos acerca de la composición del biodiesel obtenido en el laboratorio a partir de residuos de grasas domésticas? ¿Qué suposiciones y simplificaciones cabe aceptar?

Cabe destacar además dos criterios, relativos a la conducción de la actividad inicial, que se muestran en la práctica especialmente relevantes:

- La necesidad de prestar especial atención a aquellos aspectos donde los miembros del grupo puedan realizar alguna aportación positiva por modesta que sea.
- Que la entrevista dé lugar a un plan de trabajo con tareas concretas que impliquen revisión y/o adquisición de conocimientos.

El diseño de esta fase inicial fue modificado en el segundo y tercer curso de experimentación incluyendo una primera actividad no presencial según el modelo *webquest*, sobre la cual se produce posteriormente la entrevista inicial [19]

3.2.3. La gestión de la actividad.

La gestión de la actividad tiene dos aspectos esenciales: en primer lugar, la consideración global de todo el proceso, en segundo lugar, el análisis del problema en sí. En cuanto al proceso global

pueden distinguirse tres etapas: la puesta en marcha de la actividad, que ya ha sido descrita, el desarrollo del problema y la fase de resolución, que serán objeto de comentario a continuación:

El desarrollo del problema implica la identificación de aquellos conocimientos necesarios para abordarlo y de las fuentes de información adecuadas. Requiere también, obviamente, el trabajo personal de los estudiantes, integrando actividades que podríamos considerar convencionales y que en el contexto experimental consisten esencialmente en la elaboración del portafolios de prácticas, resolución de cuestiones sobre las mismas, ejercicios de aplicación, etc. En este proceso puede integrarse la realización de las prácticas de laboratorio relacionadas con el problema, lo que obliga a una cuidadosa planificación temporal del trabajo de cada grupo. Según la naturaleza del problema, también puede surgir la necesidad de realizar actividades experimentales más puntuales, que suponen un esfuerzo añadido en cuanto a la orientación y delimitación del desarrollo de los problemas y en cuanto a la organización de recursos. A lo largo de este periodo (unos dos meses) es crucial una adecuada atención a los grupos de trabajo mediante la acción tutorial, que incluye, además de dos entrevistas (como mínimo), la puesta en juego de todos los recursos que brinda la plataforma *poliformaT* [18]. Dicha atención debe tener como objetivo prioritario estimular el análisis crítico y la discusión en grupo sobre los conocimientos adquiridos.

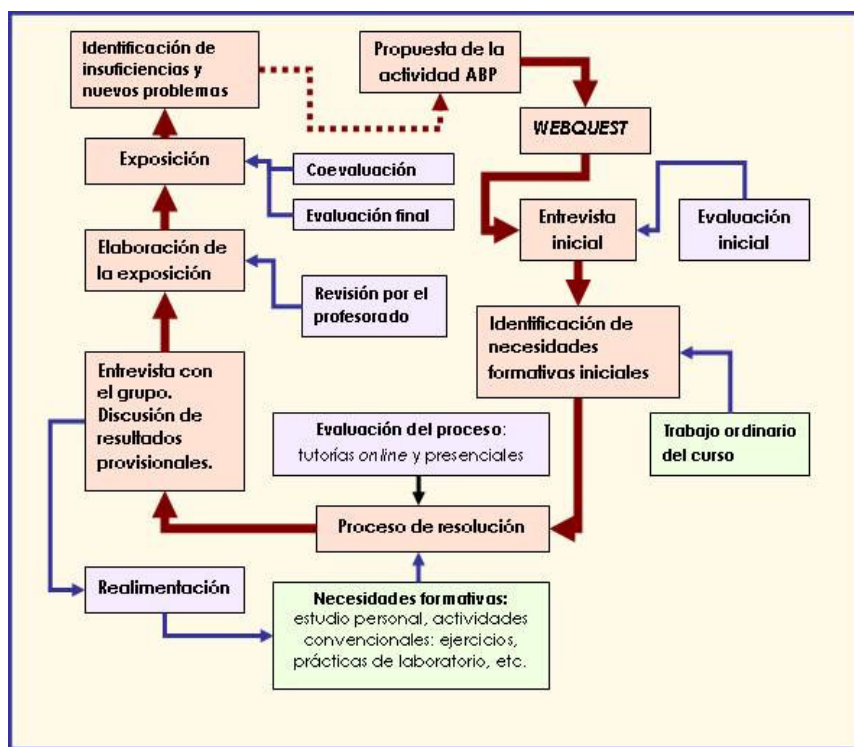
En la fase de resolución se pretende lograr una síntesis integradora de los conocimientos adquiridos con los del resto de la asignatura, llegando así a la elaboración de un documento que sea susceptible de exposición y discusión con el profesorado y el resto de los grupos involucrados.

En cuanto al primer aspecto, se partió de un esquema sencillo que fue enriqueciéndose en los dos cursos posteriores a partir de la realimentación y de investigaciones similares [7]

Fig. 2 Proceso inicial: primer año de experimentación



Fig. 3 Modelo propuesto tras los tres años de experimentación



En cuanto al análisis del problema, en esta investigación se entiende por tal la elaboración de una hipótesis acerca de los obstáculos con que los estudiantes van a enfrentarse y las estrategias de realimentación y orientación que van a adoptarse, de modo que, a través de procesos de autorregulación, los alumnos vayan avanzando en la resolución del problema. En definitiva, constituye una guía para la interacción profesor-grupo de trabajo durante el desarrollo del problema. En el ejemplo descrito este proceso viene expresado en la tabla 2.

Tabla 2 Proceso de autorregulación-retroalimentación en el problema relacionado con la obtención de biodiesel.

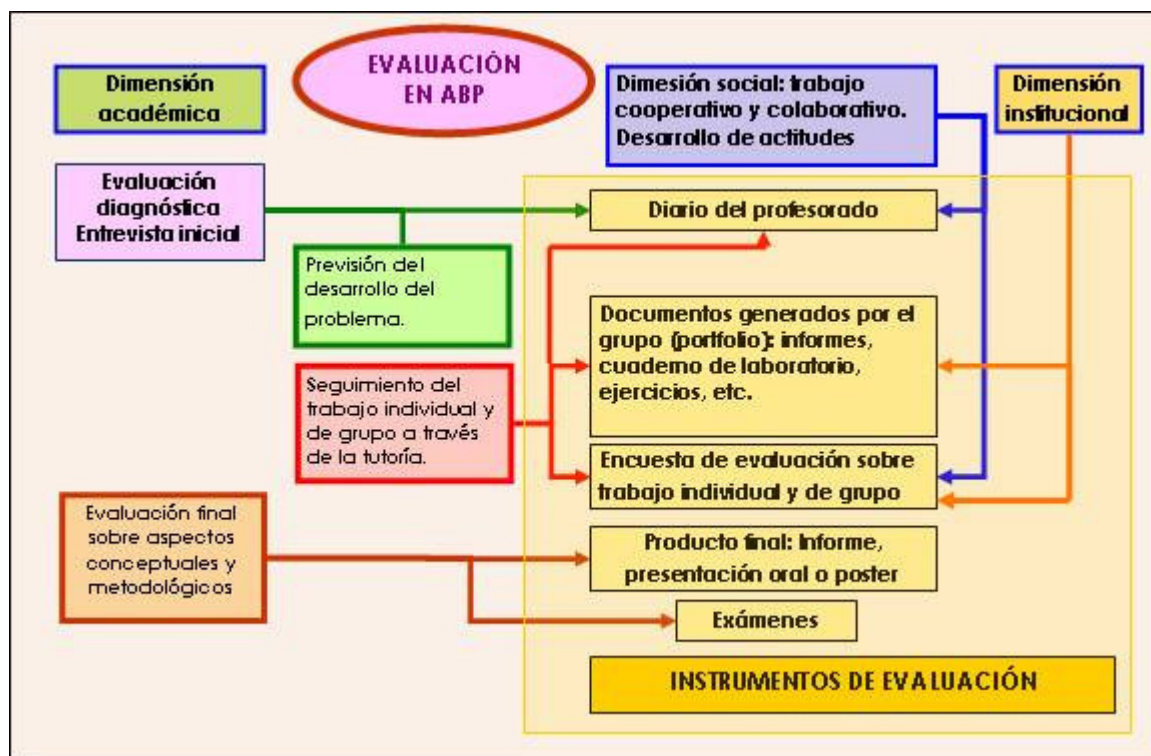
Desarrollo previsto. (Formulado como secuencia de obstáculos)	Posible realimentación (condicionada a las insuficiencias del desarrollo autónomo del problema por el grupo)
¿Qué magnitudes permiten evaluar la calidad de un combustible?	Operativizar las propuestas iniciales de los alumnos. Se trata de precisar el lenguaje.
Establecer la entalpía de combustión como magnitud que expresa la capacidad energética del combustible.	Relacionar la entalpía de combustión con la masa y el volumen, introduciendo los conceptos de densidad de entalpía y entalpía específica. Plantear la necesidad, si no ha sido propuesta por los alumnos, de considerar el índice de octano.
Dificultad para la determinación experimental de la entalpía de combustión. Análisis de posibles alternativas.	Plantear la posibilidad de determinación experimental.
¿Cómo puede aplicarse el concepto de entalpía media estándar de formación de enlace a la estimación del calor de combustión del biodiesel? ¿Qué datos acerca del biodiesel necesitamos?	Remitir al problema general de la aplicación del concepto de entalpía como función de estado (Ley de Hess). Aplicación del concepto de entalpía media estándar de formación de enlace
¿Cuál es la composición del biodiesel que podemos obtener a partir de una materia prima dada? – Residuos domésticos de grasas y aceites-	Plantear la necesidad de conocer la composición. Proporcionar información sobre los métodos analíticos que pueden emplearse y sugerir posibles aproximaciones basadas en la naturaleza de los aceites habitualmente empleados en el consumo doméstico.

¿Qué reacción permite obtener los ésteres metílicos de los ácidos grasos? ¿Cómo llevarla a cabo experimentalmente?	Enmarcar la reacción de transesterificación en el contexto general de las reacciones de transferencia de grupo acilo.
¿Cómo obtener el rendimiento de la reacción?	Revisión del concepto de rendimiento de una reacción. Revisión de ejercicios ordinarios sobre este tipo de cálculo estequiométrico.
¿Cómo aplicar el método basado en las entalpías de formación de enlace al combustible obtenido? ¿Qué herramienta informática sencilla nos permitiría extender este tipo de cálculos a cualquier combustible?	Proporcionar un ejemplo de hoja de cálculo sencilla que puedan aplicar al problema planteado.
¿Qué dificultades prácticas tendría la puesta en marcha de una instalación para la obtención y comercialización del biodiesel?	Dirigir la reflexión hacia el problema de la disponibilidad de materia prima y de la necesidad de apoyos oficiales.

3.2.4. La evaluación.

La estrategia de evaluación propuesta en esta actividad viene descrita en la figura 4.

Figura 4. Estrategia de evaluación utilizada en las actividades basadas en el ABP



En dicha estrategia pueden distinguirse diferentes dimensiones:

1. Dimensión institucional. Relación con la calificación de la asignatura, implicación en la normativa de evaluación general y aspectos de la realimentación que afectan a la organización docente.
2. Dimensión social, relacionada con el desarrollo de actitudes y la adquisición de competencias relacionadas con el aprendizaje cooperativo.
3. Dimensión académica, relacionada con la adquisición de conceptos y procedimientos relacionados con el currículo de la asignatura.

Tabla 3 La evaluación sumativa. Calificación de la actividad.

Producto (presentación oral y debate)					
Coevaluación	Valoración por el profesorado				Total
Interés Aspectos formales Claridad	Adecuación a las normas y convenciones: expresión de magnitudes y unidades	Fundamentación teórica. Corrección conceptual	Calidad de las fuentes de información utilizadas	Proceso Autonomía y creatividad (*)	
10	3	4	3	10	30

(*) Evaluable a partir del cuaderno del profesor

4. Evaluación de la propuesta. Resultados.

4.1. Percepción por el alumnado.

La percepción por el alumnado ha sido evaluada a través de una encuesta aplicada el primer y tercer curso de experimentación. Dicha encuesta y los resultados obtenidos al final de dichos cursos son mostrados a continuación:

Categorías	05/06 %	06/07 %
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 ha sido analizado y desarrollado precipitadamente en 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(30 %) 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 hacia el resto de actividades de la asignatura: clases, autoevaluaciones, etc.	3	0
b) Similar	54	50
c) Mayor	43	50

4.2. Resultados de la realimentación a través de los tres cursos.

Se describen en la tabla 5 las principales modificaciones realizadas como consecuencia de la realimentación obtenida en la experimentación de cada curso:

Tabla 5. Cuadro resumen de la realimentación llevada a cabo a lo largo de los tres años de experimentación.

	Curso 05/06	Curso 06/07	Curso 07/08
Participación	Voluntaria	Voluntaria	Voluntaria pero vinculada a la posibilidad de realizar exámenes parciales
Duración total	6 semanas	8 semanas	10 semanas
Nº alumnos	37 (14 grupos)	13 (4 grupos)	26 (11 grupos)
Organización/ seguimiento	Grupos espontáneos preferentemente de 3	Grupos espontáneos preferentemente de 3	Grupos espontáneos preferentemente de 3. Se distingue entre los grupos formados por alumnos que asisten a y los formados por repetidores
Elección/ distribución de los temas	Elección entre una lista sugerida por el profesor por orden de formación del grupo. Posibilidad de aportar temas por iniciativa del grupo.	Elección entre una lista sugerida mucho más cerrada. Sin posibilidad de proponer nuevos problemas.	Propuesta directa de dos temas a elegir. Se introducen algunos cambios: enfoques diferentes de un mismo problema para dos grupos.
Evaluación del producto	Valoración del poster por el profesor en todos sus aspectos.	Presentación oral y debate. Coevaluación	Presentación oral y debate. Coevaluación. Establecimiento de una distribución fija de la puntuación en los diferentes aspectos
Contribución a la nota del curso	20 % (mínimo de 4 en el resto de contenidos) Aplicación en las convocatorias de junio y septiembre	25 % (mínimo de 4 en el resto de contenidos) Aplicación en las convocatorias de junio y septiembre	25 % (mínimo de 4 en el resto de contenidos) Aplicación solamente a la convocatoria de junio.
Evaluación del proceso por los alumnos	Encuesta	Valoración en la sesión final de exposición de resultados	Encuesta
Grado de vinculación con las prácticas de laboratorio	Relativo. Un 50 % de los temas no está directamente relacionado con las prácticas.	Total. Todos los problemas propuestos se hallan vinculados a las prácticas.	Se vuelve a una distribución similar a la del primer año, pero separando claramente los grupos formados por asistentes a las prácticas, de los que no lo están.

Algunos comentarios:

En cuanto a la evaluación por los estudiantes, los aspectos mejor valorados son la adecuación e interés de los temas y su planteamiento; así como la tutoría; la contribución al aprendizaje del resto de los contenidos de la asignatura ha mejorado sensiblemente respecto de la valoración obtenida el curso anterior, probablemente, por el establecimiento de relaciones más explícitas con los contenidos teóricos.

En conjunto, se ha observado una implicación generalizada y permanente en los alumnos que asisten habitualmente a clase; más irregular es la participación de los repetidores. Las diferencias en ritmo y estilo de trabajo entre los grupos son muy acusadas, lo cual dificulta considerablemente la tutoría de la actividad. En la experiencia del tercer año, la vinculación entre la participación en esta actividad y la posibilidad de optar a un sistema de evaluación continua ha dado lugar a que todos los grupos inicialmente constituidos finalizaran su trabajo.

La lentitud en la constitución definitiva de los grupos dilata excesivamente la fase de puesta en marcha. En este sentido la irregularidad en la asistencia a clase ha sido un obstáculo decisivo al dificultar una comunicación fluida capaz de agilizar el desarrollo de las tareas.

Un aspecto importante que ha sido sometido a revisión a lo largo de los tres cursos ha sido la conexión entre el programa de la asignatura y los problemas planteados, tal vez excesivamente desvinculados en algún caso durante el primer curso de experimentación.

5. Conclusiones.

Como conclusión general, cabe considerar satisfactorios los procesos de resolución y evaluación de los problemas como tales, siendo particularmente notoria la dinamización de la tutoría, efecto que se extiende al resto de la asignatura. Las dificultades surgen en el ámbito organizativo y académico, principalmente, en cuanto a la repercusión en la calificación global. Ello es debido, por una parte, a la problemática específica de los repetidores y, en general, a la irregular asistencia a clase. Tal vez, un requisito imprescindible para el éxito de este tipo de actividades sea vincular la participación en ellas a la asistencia obligatoria.

La propia naturaleza de los problemas muestra ser un elemento decisivo en el desarrollo de la actividad, de modo que no todos son igualmente eficaces en cuanto a la consecución de los objetivos planteados. En este sentido, es necesario encontrar situaciones problemáticas en contextos de interés que favorezcan el desarrollo de estrategias más investigativas, frente a la mera obtención, selección y organización de la información, procesos que, a su vez, también merecen una atención específica. Asimismo, es necesario que den lugar a tratamientos experimentales sencillos y previsibles, dadas las limitaciones en cuanto a la disponibilidad del laboratorio al margen del horario habitual de prácticas.

Posiblemente, una solución puede ser reducir el número de problemas diferentes puestos en juego y diversificarlos en cuanto a su aplicación y desarrollo concretos por cada grupo, manteniendo su estructura y fundamentos teóricos. Por ejemplo, el problema basado en el precio de los aceites esenciales puede abordarse simultáneamente por varios grupos, seleccionando plantas aromáticas diferentes, preservando así la necesaria autonomía de cada grupo.

La mayor dificultad en la gestión de la actividad ha sido la regulación del ritmo de trabajo de los grupos. Pueden distinguirse varios factores:

- La falta de tiempo para organizar sesiones presenciales de trabajo cooperativo; en este sentido es importante indicar que esta actividad se apoya excesivamente en el tiempo dedicado a la tutoría. Ello dificulta además la gestión del trabajo cooperativo, en cuanto a la dinámica interna de los grupos, en cuanto a garantizar una participación equilibrada.
- Aunque se evalúe el proceso, el momento de la calificación tiene lugar al final del mismo; así, el tipo de retroalimentación que se proporciona durante el desarrollo del problema no ejerce la suficiente presión para que el trabajo se realice de un modo regular y equilibrado. Particularmente, los grupos tienden a comenzar lo más tarde posible (de hecho, a lo largo de los tres cursos fue ampliándose el periodo de trabajo). En este sentido, la realización de evaluaciones intermedias que afecten sensiblemente a la calificación parece imprescindible.

- La coordinación entre el calendario de prácticas y el desarrollo de los problemas obliga a modificar el ritmo de trabajo de los grupos, lo cuál es una razón más para intentar reducir el número de problemas diferentes puestos en juego.

El planteamiento inicial de la actividad muestra también ser un elemento decisivo, ya que determina considerablemente su desarrollo posterior, proporcionando un mejor resultado su lanzamiento a través de una *webquest* que garantice un trabajo de exploración previo a la entrevista inicial. También es decisivo que ésta de lugar a un plan de trabajo con su programación temporal.

La identificación autónoma por los estudiantes de sus necesidades formativas se ha producido en un grado bastante limitado. Ello puede ser debido a las siguientes causas.

- Una, evidente, la escasa familiaridad con este tipo de propuestas didácticas.
- La vinculación con los objetivos del curso y con las prácticas de laboratorio provoca una menor exigencia en cuanto a la necesidad de identificación autónoma de las necesidades formativas. No obstante, en una etapa de iniciación al ABP, tal vez sea una limitación que deba aceptarse.
- Cuando se produce la búsqueda autónoma de formación, la excesiva dependencia de los buscadores generalistas en la *web* puede constituir a veces un inconveniente. Cabe por tanto insistir reiteradamente en la necesidad de mejorar estrategias de búsqueda de información.

Por último, uno de los factores más decisivos en la aplicación de este tipo de actividades y que ha experimentado más modificaciones respecto del diseño inicial ha sido la naturaleza y modo de evaluación del producto final. Inicialmente se propuso la elaboración de un cartel expuesto en el laboratorio que, voluntariamente, podía ser sometido a revisión previa por el profesor. Esta práctica mostró varias insuficiencias importantes: la escasa participación e impacto en el resto del alumnado, el hecho de constituir una evaluación exclusivamente centrada en el profesor y la profusión de errores, en ciertos casos, de carácter conceptual. La alternativa desarrollada en los dos cursos siguientes se ha caracterizado por:

- La sustitución del cartel por una presentación oral con diapositivas y debate en una sesión colectiva, a la que asisten todos los grupos.
- La revisión previa obligatoria de la presentación por el profesor.
- La aplicación de la coevaluación para determinados aspectos (interés, claridad y aspectos formales), mientras que el profesorado asumió el otro 50 % relacionado con la corrección conceptual.

6. Referencias bibliográficas

- [1] WARD, J. D.; LEE, C. L. "A review of problem-based learning", *Journal of Family and Consumer Science Education*. Vol. 20, No. 1, 2002, pp. 16-26.
- [2] PAULSON, D. R., "Learning and Active Cooperative Learning in the Organic Chemistry Reading Class", *Journal of Chemical Education*. Vol. 76, No. 8, 1999, pp. 1136-1140
- [3] NORTHWOOD, M. D., NORTHWOOD, D. O., NORTHWOOD, M. G. "Problem Based Learning (PBL): From the Health Sciences to Engineering to Value-Added in the workplace". *Global Journal of Engineering Education*. Vol. 7, No. 2, 2003, pp.157-164
- [4] MOHD, K. "Inducting First Year Engineering Stuentns into Problem-Based Learning". *International Problem-Based Learning Syposium*. Singapore, 2007. www.rp.sg/symposium (acceso 29/8/07)
- [5] KELLY, O. C.; FINLAYSON, O. E. "Providing solutions through problem-based learning for the undergraduate 1st year chemistry laboratory". *Chemistry Education: Research and Practice*, Vol. 8, No. 3, 2007, pp. 347-361.
- [6] GAMBHIR, P. B. "Staff Development in India: An Experiment in Orienting Conventional Teaching Strategy to Problem-Based Learning Discourses". *International Problem-Based Learning Syposium*. Singapore, 2007. www.rp.sg/symposium (acceso 29/8/07)

- [7] POIKELA, S.; VUOSKOSKI, P.; KÄRNÄ, M. "Developing New Environments for Learning and Knowing in Problem-Based Education". *International Problem-Based Learning Symposium*. Singapore, 2007. www.rp.sg/symposium (acceso 29/8/07)
- [8] GIL, D., "Contribución de la historia y la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación". *Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 11, No. 2: 1993, pp. 197-212.
- [9] MITCHELL, T. Y WHEWELL, R. "Chemistry Subject Area Group: The Chemistry Eurobachelor". En: *Tuning Educational Structures in Europe*. Comisión Europea de Educación y Cultura, 2003, pp. 111.123.
- [10] LEHMAN, J. W., *Operational Organic Chemistry: to problem-solving approach to the laboratory course*. New Jersey, U.S.A.; Prentice-Hall, 3rd ed. 1999
- [11] WARD, C. "The development of creative problem solving in chemistry". *Chemistry Education: Research and Practice*, Vol. 7, No. 2, 2006, pp. 96-113.
- [12] GROH, S. E. *Riverside's Dilemma*. <http://www.udel.edu/pbl/curric/chem104-prob.html>. 2008 (acceso: 3/1/08)
- [13] DAI YANFENG, "Using new strategies to improve teaching and learning in Organic Chemistry", *The China Papers*, November 2004, pp. 6-9
- [14] LLORENS, J. A. "La contextualización del trabajo de laboratorio. Una propuesta para un curso universitario de Química General". *Educación Química*, Vol. 18, No. 4, 2007; pp. 259-267
- [15] DOWNING, K. J.; SHIN, K.; KWONG, T. Does Problem-Based Learning Enhance Metacognition? *International Problem-Based Learning Symposium*. Singapore, 2007, www.rp.sg/symposium (acceso: 29/8/07)
- [16] CHROBAK, R. *Metacognition and Didactic Tools in Higher Education*. Comahue National University. Buenos Aires (Argentina). 2006, <http://www.cecs.kumamoto-u.ac.jp/JTHET01/proc/082.pdf>, (acceso 20/6/2006).
- [17] KOVAK, J. "Student Active Learning Methods in General Chemistry". *Journal of Chemical Education*. Vol. 76, No. 1, 1999, pp. 120-124.
- [17] BUSQUETS, J.; ROLDÁN, D.; MARTÍNEZ, S.; DEL BLANCO, D. *PoliformaT: Una estrategia para la formación online en la educación superior*. Virtual Educa, 20-23 de junio de 2006, Bilbao. <http://ihm.ccadet.unam.mx/virtualeduca2006/pdf/177-DRM.pdf>
- [18] LLORENS, J. A. "Design and Assessment of an Online Prelab Model in General Chemistry: A Case Study", *Journal of the Research Center for Educational Technology*, Vol. 4, No. 2, 2008
- [19] LLORENS, J. A. *Las webquest como instrumento para la contextualización de las prácticas de laboratorio: una experiencia sobre la obtención y análisis de aceites esenciales*. Jornada sobre Aprendizaje Activo de la Física y la Química, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Madrid, 2007.