

IMPLEMENTACIÓN DEL APRENDIZAJE BASADO EN PROYECTOS EN LABORATORIOS DE QUÍMICA ANALÍTICA DEL GRADO DE QUÍMICA

IMPLEMENTATION OF PROJECT-BASED LEARNING IN ANALYTICAL CHEMISTRY LABORATORIES OF THE CHEMISTRY GRADE

Juan F. Ayala-Cabrera^{1,*}, Clara Pérez-Ràfols^{1,*}, Oscar Núñez^{1,2}, Núria Serrano¹

(1) Departamento de Ingeniería Química y Química Analítica, Universidad de Barcelona, Martí i Franquès, 1-11, 08028 Barcelona - España

(2) Profesor Agregado Serra Húnter, Generalitat de Catalunya, Barcelona - España

* autor contacto (j.ayala@ub.edu; claraperezrafols@ub.edu)

Recibido: 09/12/2019 - Evaluado: 19/02/2020 - Aceptado: 12/03/2020

RESUMEN

La estrategia metodológica aprendizaje basado en proyectos (ABP) se ha implementado en laboratorios Química Analítica, concretamente en la asignatura de Laboratorio Básico de Química Analítica del Grado de Química, con el objetivo de contextualizar las prácticas, mejorar la evaluación crítica de los resultados obtenidos y fomentar el trabajo colaborativo. Para ello, se han propuesto cinco temáticas distintas para que los alumnos elaboren un proyecto, planteando su objetivo y las determinaciones analíticas (parámetros y muestras) necesarias para alcanzarlo. La implementación de estos proyectos ha facilitado la generación de un mayor volumen de resultados interrelacionados entre ellos que ha permitido a los estudiantes trabajar la evaluación crítica de los resultados con mayor profundidad. La consecución de los objetivos propuestos para la implementación del ABP se ha demostrado mediante encuestas anónimas a los estudiantes y por comparación con otros cuatro grupos de la misma asignatura impartidos durante el mismo curso académico.

ABSTRACT

The methodological strategy of project-based learning has been implemented in Analytical Chemistry laboratories, specifically in the subject of Basic Analytical Chemistry Laboratory of the Chemistry Degree, with the aim of contextualizing the practices, improving the critical evaluation of the results obtained and promoting collaborative work. For this purpose, five different topics have been proposed for students to elaborate a project, setting out its objective and the analytical determinations (parameters and samples) necessary to achieve it. The implementation of these projects has facilitated the generation of a greater volume of interrelated results that has allowed the students to work on the critical evaluation of the results in greater depth. The achievement of the objectives proposed for the implementation of the PBL has been demonstrated by means of anonymous surveys to the students and by comparison with other four groups of the same subject taught during the same academic year.

Palabras clave: aprendizaje basado en proyectos (ABP), laboratorios de Química Analítica, evaluación crítica de resultados analíticos, contextualización de prácticas de laboratorio

Keywords: project-based learning (PBL), Analytical Chemistry laboratories, critical evaluation of analytical results, contextualization of laboratory practices

INTRODUCCIÓN

La declaración de Bolonia de 1999 sentó las bases para la creación del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), que tiene como principal objetivo potenciar la calidad y la competitividad internacional de la educación superior en Europa. La implementación del EEES, implica un cambio importante en el paradigma de la educación ya que sitúa al estudiante en el centro del proceso de aprendizaje-enseñanza y desplaza al profesor a una posición de apoyo, *coach* o experto. Así, ha sido necesario introducir cambios significativos en las metodologías docentes con el fin de que el estudiante adquiera tanto las competencias específicas de su titulación como las competencias transversales (Salaburu *et al.*, 2011).

En el caso concreto del Grado de Química, muchas universidades nacionales han optado por un aprendizaje experiencial, donde se busca que el estudiante aprenda a través de su propia experiencia, siempre dentro de un marco conceptual y operativo concreto y bien desarrollado. Esto es lo que se pretende en las asignaturas de laboratorio, donde se establece como marco conceptual los conocimientos adquiridos previamente en una asignatura teórica. Así, esta metodología impulsa la participación activa del estudiante y fomenta que éste adquiera competencias transversales como la capacidad de trabajo autónomo, la resolución de problemas y toma de decisiones, la capacidad de organización y planificación o la capacidad comunicativa y de trabajo en equipo (Martínez-Torregrosa *et al.*, 2012; Caamaño, 2005).

No obstante, en muchos casos, las asignaturas experimentales se basan en un cúmulo de experimentos, que se realizan de forma individual donde, aunque los estudiantes adquieren ciertas habilidades y se enfrentan a problemáticas analíticas, éstas muchas veces no se terminan de relacionar con un problema socio-económico real. Esta metodología carece de un nexo de unión entre las diferentes prácticas que abordan una misma problemática analítica dando lugar a una pérdida del sentido global de la asignatura. Además, ello provoca que los estudiantes no terminen de realizar una evaluación más amplia de los resultados obtenidos, perdiendo así una oportunidad de favorecer su razonamiento crítico.

En este sentido, el aprendizaje basado en proyectos (ABP) puede aportar un valor añadido a este tipo de asignaturas experimentales ya que proporciona un contexto a las prácticas a la vez que permite a los estudiantes buscar soluciones a problemas no triviales, hecho que implica que tengan que formular preguntas, debatir ideas, realizar predicciones, diseñar y planificar experimentos, recolectar y analizar datos, extraer conclusiones y comunicar sus resultados (Blumenfeld *et al.*, 1991). Todo esto permite que el estudiante desarrolle tareas cognitivas de nivel superior, lo que resulta en una comprensión más profunda de la materia (Freeman *et al.*, 2014) y ayuda a desarrollar al máximo su potencial intelectual (Morales, 2009a).

Además, el ABP también fomenta el trabajo colaborativo entre estudiantes, lo cual puede influir muy positivamente en su éxito académico (Barkley *et al.*, 2007; Davidson *et al.*, 2014; Laal & Ghodsi, 2012). Es por ello que esta estrategia metodológica puede tener un gran potencial en la educación superior, especialmente en el campo de las ciencias experimentales, ya que permite la aplicación directa de los conocimientos y las competencias trabajadas durante los estudios de grado a un caso real que puede tener trascendencia social (Svinicki & Mckeachie, 2015).

Así, en este trabajo se propone la implementación del ABP como estrategia metodológica en la asignatura Laboratorio Básico de Química Analítica (LBQA). LBQA es una asignatura obligatoria de segundo curso del Grado de Química de la Universidad de Barcelona, presencial y 100% experimental en la que los estudiantes realizan prácticas de laboratorio durante 3 semanas, a razón de 4 horas diarias, formándose en el análisis volumétrico, gravimétrico y potenciométrico.

La estrategia metodológica aplicada tradicionalmente en esta asignatura de laboratorio busca que los alumnos tengan la oportunidad de realizar de manera individual diferentes determinaciones volumétricas (a ser posible una representativa de cada equilibrio: ácido-base, complejación, oxidación-reducción y precipitación), así como una determinación gravimétrica y otra potenciométrica. Si bien con esta metodología tradicional se procura que los

estudiantes tengan la oportunidad de trabajar tanto con el diferente material del laboratorio como con diferentes muestras y sus correspondientes tratamientos de muestra, hay también ciertos aspectos que se podrían mejorar: i) la falta de un nexo de unión entre las diferentes prácticas puede conllevar la pérdida del sentido global de la asignatura, entendiéndola como una suma de prácticas y no como un todo; ii) durante el transcurso de las prácticas se hace bastante hincapié en cómo realizar correctamente los procedimientos y en su fundamento químico, pero a menudo se pierde la importancia de las prácticas a nivel cotidiano (para qué sirven) y de la evaluación crítica de los resultados; y iii) con esta metodología se fomenta mucho la comunicación docente-alumno pero no se explotan las ventajas de la comunicación entre estudiantes.

Así pues, la implementación del ABP en esta asignatura práctica tiene un triple objetivo: i) permitir que los alumnos dispongan de más resultados interrelacionados, hecho que favorecerá la creación de situaciones que fomenten la evaluación crítica de los resultados obtenidos; ii) contextualizar las diferentes prácticas de laboratorio y a la vez proporcionar un nexo de unión entre ellas que contribuya a otorgar un sentido más global a la asignatura; y iii) fomentar el trabajo colaborativo entre estudiantes.

METODOLOGÍA

La implementación del ABP en la asignatura LBQA se ha realizado de acuerdo al esquema mostrado en las Figuras 1 y 2.

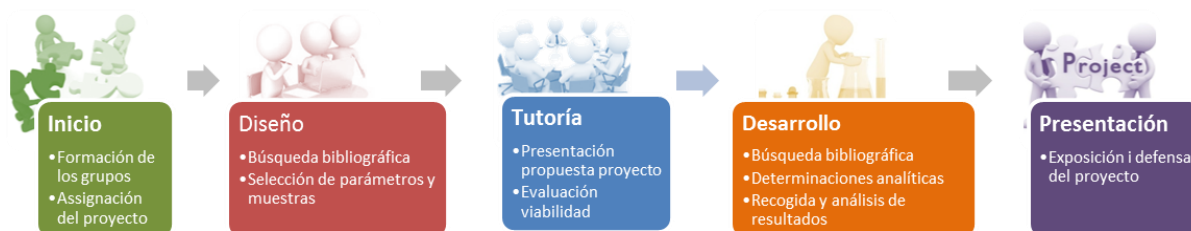


Fig. 1: Esquematización de la implementación del ABP.

Fase inicial. La fase inicial de los proyectos tiene lugar durante la primera sesión de la asignatura. En esta fase se explica el funcionamiento general de los proyectos, se asignan las temáticas y se crean grupos formales para el desarrollo del proyecto, idealmente de 5 miembros para favorecer un trabajo colaborativo más eficaz (Barkley *et al.*, 2007). Tanto la formación de los grupos como la asignación de la temática del proyecto se realizan de manera aleatoria en función de la taquilla que ocupe cada estudiante en el laboratorio.

Fase de diseño. La fase de diseño se realiza esencialmente fuera del laboratorio. Esta fase se inicia con una búsqueda bibliográfica donde todos los miembros del grupo recogen información sobre posibles parámetros y muestras a analizar. A partir de la información recogida el grupo debe acordar qué parámetros determinarán y qué muestras se estudiarán. A lo largo de la tercera y la cuarta sesión se realizan tutorías previas con cada grupo para aprobar el diseño del proyecto. En este sentido, el principal criterio que se tiene en cuenta para la aprobación del proyecto es su viabilidad (número de muestras y parámetros a analizar, disponibilidad de material y reactivos en el laboratorio, etc.).

Fase de desarrollo. Una vez aprobado el diseño del proyecto de todos los grupos, el equipo docente planifica la distribución de las prácticas de lo que resta de turno para garantizar que se finalicen todos los proyectos. Se procura que cada alumno realice prácticas asociadas a su proyecto, pero, dado que a lo largo de las prácticas es importante que los alumnos vean, como mínimo, una determinación volumétrica de cada tipo, una gravimetría y una potenciometría, y que el número de sesiones es limitado, algunas prácticas de un proyecto pueden ser asignadas también a miembros de otros grupos. Los resultados obtenidos en las prácticas asociadas a los

proyectos se comparten mediante una plataforma *on-line*. Así, todos los miembros del grupo tienen acceso inmediato y pueden realizar el análisis de los resultados. Paralelamente a la realización de las determinaciones analíticas, cada grupo continúa con la búsqueda bibliográfica, enfocada sobre todo en la importancia de los parámetros seleccionados, los valores habituales que se obtienen y la tipología de las muestras.

Actividad	Sesiones														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Formación de los grupos	■														
Asignación de los proyectos	■														
Diseño de los proyectos	■	■	■	■											
Tutorías para aprobar el diseño			■	■											
Determinaciones analíticas					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Recogida y análisis de resultados						■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Presentación de los proyectos															■

Fig. 2: Planificación de la aplicación del ABP en la asignatura de LBQA.

Presentación. La última sesión se dedica a la exposición y defensa de los proyectos. Esta exposición es oral y cada grupo debe contextualizar su proyecto, justificar la elección de los parámetros y muestras, explicar brevemente el fundamento de cada determinación y analizar los resultados haciendo énfasis en las repercusiones que tienen en la "vida real".

En concreto, las temáticas planteadas en la asignatura de LBQA para estos proyectos fueron aceites, agua de consumo, metales, fármacos y haluros. Todas estas temáticas se caracterizan por ser generales, hecho que ofrece a los estudiantes distintas posibilidades para enfocar el proyecto, y por tener asociadas distintas determinaciones analíticas que involucran los diferentes tipos de análisis que se pretenden trabajar en LBQA.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con la metodología planteada, se presentaron los proyectos a los grupos de estudiantes formados con la finalidad de que a partir de la información encontrada en la literatura plantearan la pregunta que se quería resolver a través del proyecto (*driving question*), así como los parámetros y las muestras que se tendrían que analizar para poder extraer las conclusiones necesarias. De esta manera, se pretende que los estudiantes tengan una alta capacidad de decisión sobre el proyecto, el cual debe adaptarse a las posibilidades presentes en el laboratorio y está supervisado en todo momento por el profesorado.

En concreto, los proyectos presentados en la asignatura de LBQA por los diferentes grupos de estudiantes se muestran en la Tabla 1. Cada uno de estos proyectos, cuya viabilidad fue previamente evaluada por el equipo docente, consta de entre 10 y 16 experimentos (en función del número de parámetros a determinar y del número de muestras disponibles) que fueron distribuidos temporalmente entre todos los estudiantes del grupo clase. De

esta forma, cada estudiante tuvo que realizar al menos dos determinaciones relacionadas con su proyecto y algún experimento relacionado con alguno de los otros proyectos y, posteriormente, compartir los resultados, previamente validados por el equipo docente, con los miembros de cada proyecto.

Tabla 1: Resumen de los proyectos ABP propuestos por los estudiantes.

Proyecto	Pregunta (<i>Driving Question</i>)	Parámetros	Muestras
Aceites	¿La calidad de los aceites de mercado es la que realmente creemos?	Acidez Índice saponificación Índice de yodo	Aceites de oliva (3 muestras) Aceites de girasol (2 muestras)
Agua de consumo	¿Qué compuestos se encuentran en las aguas de consumo? ¿Sus niveles son aceptables para el ser humano?	Alcalinidad Cloruros Dureza Sulfatos	Aguas de línea de distintas zonas (3 muestras) Agua envasada (1 muestra)
Metales	¿Qué método es más adecuado para la determinación de cada metal?	Volumetría Al Gravimetría Al Volumetría Cu Gravimetría Cu Volumetrías Fe Gravimetría Fe Volumetría Pb Gravimetría Pb Volumetría Zn Gravimetría Zn	Aluminio metálico Cobre metálico Hierro metálico Sal de plomo Sal de zinc
Fármacos	¿El contenido del principio activo es el estipulado por el fabricante? ¿Existen diferencias entre marcas comerciales?	Contenido ácido acético salicílico Contenido vitamina C	Aspirinas (6 muestras) Vitamina C (6 muestras)
Haluros	¿Qué volumetría de precipitación es más adecuada para cada haluro? ¿Qué ventajas pueden aportar las potenciometrías?	Método de Mohr Método de Volhard Método de Fajans Potenciometría	NaCl KBr KI Mezcla de KBr y KI Mezcla de NaCl, KBr y KI

Con el fin de determinar si la introducción del ABP supuso una mejora en el proceso de aprendizaje de los estudiantes, se establecieron indicadores para evaluar la consecución de los tres objetivos planteados: mejora del análisis crítico de los resultados, contextualización de las prácticas y fomento del trabajo colaborativo.

Análisis crítico de los resultados

Con el fin de evaluar si la implementación del ABP permitió a los estudiantes mejorar el análisis crítico de los resultados, se establecieron dos indicadores:

- i. Evaluación realizada sobre los resultados obtenidos en la libreta de laboratorio.
- ii. Evaluación de la capacidad de análisis crítico durante la presentación oral del proyecto y su comparación con respecto a otros grupos que trabajan con una metodología tradicional u otra metodología de aprendizaje activa alternativa.

El primer indicador se evaluó mediante el análisis crítico de los resultados obtenidos realizado por un mismo estudiante al comenzar y al finalizar la asignatura, así como la comparativa con la evaluación realizada por estudiantes de años anteriores donde no se aplicó esta estrategia metodológica. Los resultados obtenidos

demonstraron que, tanto en años anteriores como al comenzar la asignatura, los estudiantes basaban la discusión de los resultados en una evaluación analítica de los mismos (precisión, veracidad, etc.). Sin embargo, las evaluaciones correspondientes a las últimas prácticas realizadas constataron que, además de esta evaluación analítica, se incluía una evaluación socio-económica. De esta manera, el estudiante no solo evaluaba la calidad de los resultados numéricos obtenidos, sino que los extrapolaba y los interpretaba para poder relacionarlos con la problemática que se planteaba en la práctica realizada y extraer conclusiones sobre la muestra analizada.

Por otro lado, se evaluó la capacidad de análisis crítica mostrada durante la presentación del proyecto mediante una rúbrica donde se consideraban los siguientes ítems: explicación de la importancia de la determinación a realizar, explicación del procedimiento, identificación de las fuentes de error, evaluación analítica de los resultados, evaluación socio-económica de los resultados y, en los casos en los que se comparen métodos, evaluación conjunta de los resultados obtenidos (Ayala-Cabrera *et al.*, 2019).

De acuerdo con esta rúbrica, se considera que el grupo puede presentar diferentes niveles de capacidad de análisis crítico de los resultados en función del porcentaje de puntos obtenidos: baja (33.3% - 52.4%), moderada (52.4%-76.2%) y alta (>72.6%). Los resultados obtenidos fueron comparados con otros grupos de la asignatura donde no se aplicó esta estrategia metodológica. En la Figura 3 se puede observar las puntuaciones totales obtenidas en cada una de las presentaciones realizadas por los alumnos, así como el promedio resultante en cada grupo.

A nivel general, se puede observar que los grupos que han trabajado con metodologías de aprendizaje activas como el trabajo colaborativo (n=7) o el aprendizaje basado en proyectos (n=5) presentan una mayor capacidad de análisis crítico promedio, lo cual demuestra que este tipo de metodologías favorece el razonamiento de los resultados por parte de los estudiantes en la asignatura de LBQA. Entre ambas metodologías, la capacidad de análisis crítico de los grupos que trabajaron con trabajo colaborativo se sitúa en el rango alto del nivel moderado mientras que el grupo que trabajó con ABP se sitúa en el rango bajo del nivel alto. Además, se puede observar que no hay una dispersión muy elevada entre las presentaciones realizadas por diferentes grupos pertenecientes al mismo grupo clase, lo cual demuestra que las metodologías empleadas han tenido una alta influencia sobre los estudiantes. En lo que respecta a los grupos que empleaban una metodología más tradicional, se observa que los peores resultados se obtienen para el turno tradicional 2 (n=13), donde se exigía realizar un número de prácticas bastante elevado (aproximadamente 12-14), por lo que el razonamiento y las conclusiones extraídas tienden a ser más generales y superfluas. Finalmente, también se debe tener en cuenta que además de la metodología aplicada y el docente que imparte la asignatura, la tipología de estudiantes también puede afectar a los resultados. A modo de ejemplo, se puede observar que los grupos tradicional 1 (n=7) y tradicional 3 (n=7), los cuales fueron impartidos por el mismo profesor y empleaban la misma metodología, presentan una diferencia del 15%.

Con el fin de identificar cuáles han sido los aspectos en los que la metodología de ABP ha permitido mejorar la capacidad de análisis crítico de los estudiantes, se han valorado por separado los distintos ítems que se evaluaban a través de la rúbrica. La Figura 4 muestra, de acuerdo con los niveles de capacidad de análisis críticos definidos anteriormente, los resultados promedio obtenidos por cada uno de los grupos clase de la asignatura LBQA. Cabe destacar que las principales mejoras de las metodologías de aprendizaje activo (trabajo colaborativo y ABP) se centraron en una mejor explicación de la importancia que conllevaba la determinación o el proyecto que se estaba realizando, un mayor razonamiento de los procedimientos empleados, mayor capacidad para identificar las fuentes de error y posibles medidas correctivas y, sobre todo, una evaluación conjunta de los resultados extrayendo conclusiones mucho más ambiciosas. En lo que respecta a la evaluación socio-económica de los resultados, se puede observar una mejora notable cuando se empleó la metodología ABP con respecto a la metodología tradicional, aunque aún existe un margen de mejora en este aspecto. De esta manera se puede concluir que las metodologías de aprendizaje activo y, en concreto el ABP, permiten mejorar notablemente la capacidad de análisis crítico de los resultados por parte de los estudiantes, lo cual implica una mejora en su proceso de aprendizaje.

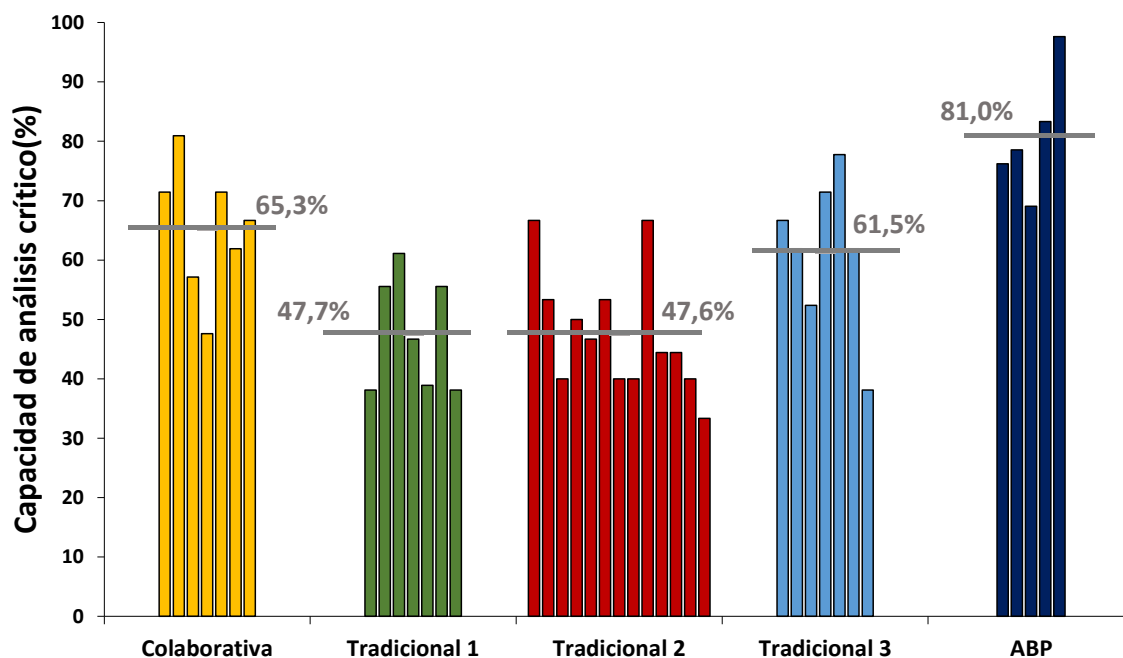


Fig. 3: Capacidad de análisis crítico evaluada durante las presentaciones realizadas por diferentes grupos de estudiantes pertenecientes a distintos grupos de prácticas de la asignatura LBQA.

Contextualización de las prácticas

El segundo objetivo que se pretendía alcanzar aplicando una metodología de aprendizaje activo como el ABP es contextualizar las prácticas y dotar a la asignatura de un carácter global que permita interrelacionar los resultados obtenidos en los experimentos realizados. Para ello, se empleó como indicador una encuesta específica realizada a los estudiantes que realizaron las prácticas con la metodología de ABP (n=25). De esta manera, el 96% de los estudiantes considera que el ABP les ayudó a contextualizar las prácticas en temas relacionados con el control de la calidad, ambiental, alimentario o de productos farmacéuticos. Además, el 100% de los estudiantes considera que los proyectos les ayudaron a aprender a analizar y relacionar los resultados obtenidos en las diferentes prácticas que realizaron.

Fomento de la colaboración entre estudiantes

En lo que respecta a la colaboración entre estudiantes, la consecución de este objetivo está implícita en la aplicación de la metodología propuesta ya que el trabajo en grupo permite el trabajo colaborativo por parte de los estudiantes frente a la metodología tradicional, donde se trabajaba de manera individual. No obstante, se utilizó una plantilla de co-evaluación durante la última sesión para evaluar el grado de participación de cada uno de los estudiantes en las diferentes etapas del proyecto. Los resultados obtenidos constataron que la colaboración entre estudiantes del mismo proyecto había sido adecuada y la mayoría (>95%) consideraban que la participación había sido equitativa entre los diferentes miembros del grupo. En este punto es importante remarcar la importancia de asegurar el buen funcionamiento de los distintos grupos de trabajo ya que otros estudios han evidenciado que, si no se logra consolidar los equipos, ello tendrá consecuencias negativas sobre la motivación y los logros en los diferentes niveles de aprendizaje (Morales Bueno, 2009b).

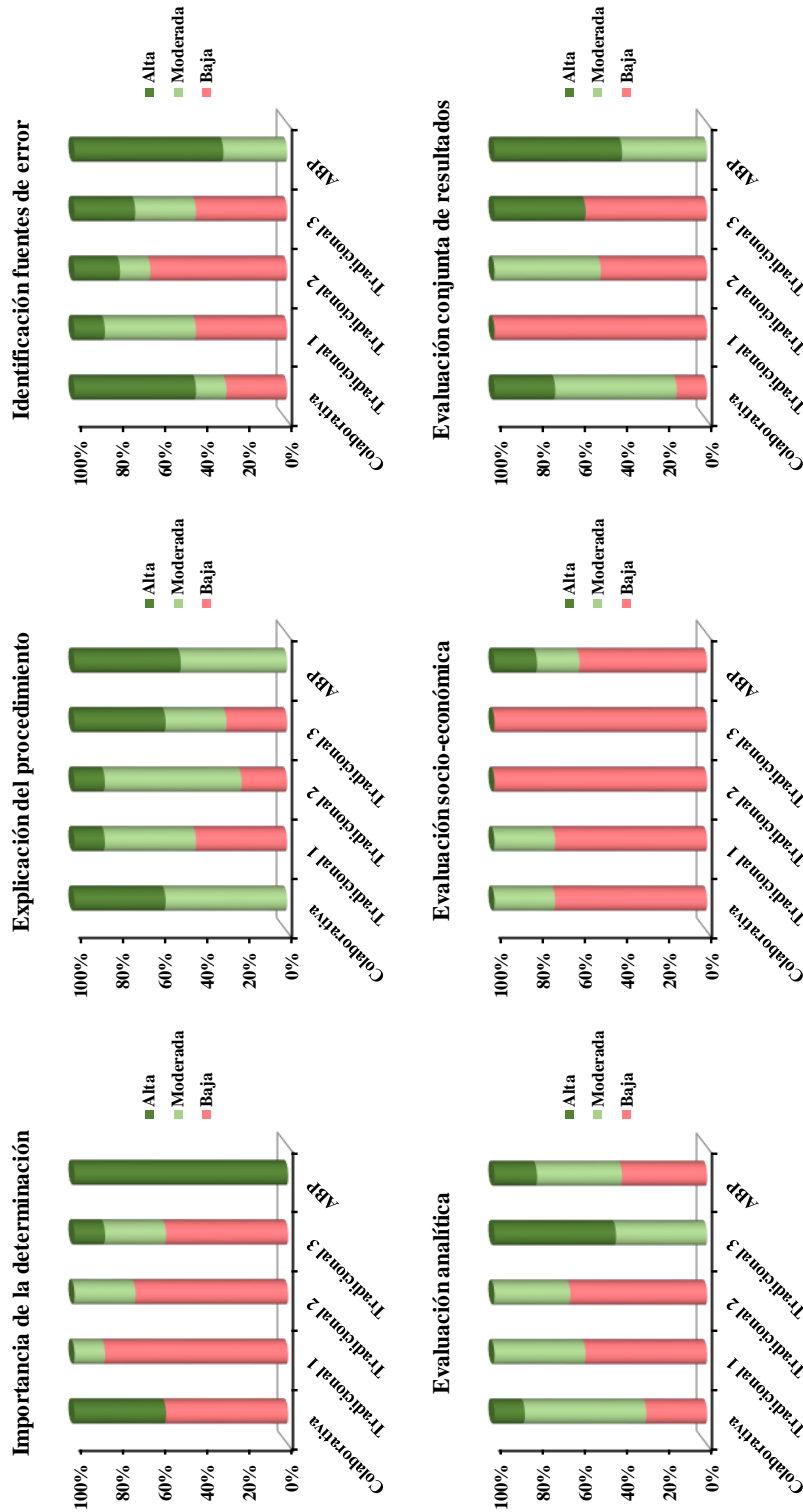


Fig. 4: Comparativa de la capacidad de análisis crítico relacionada con diferentes etapas del proceso analítico.

Grado de satisfacción

El grado de satisfacción con la estrategia metodológica aplicada fue evaluado tanto por el equipo docente (n=3) como por los estudiantes (n=25). En lo referido al equipo docente, se consideró que se habían alcanzado los objetivos de mejora que se habían establecido. No obstante, se planteó que para que el funcionamiento de esta metodología sea correcto se debe tener en cuenta la tipología de estudiantes, mantener un ritmo de trabajo adecuado y controlar la colaboración entre grupos para favorecer la transferencia de resultados dentro de los plazos establecidos.

La satisfacción de los estudiantes con la metodología ABP fue evaluada mediante una encuesta de opinión de carácter anónimo. En general, los estudiantes valoraron de forma positiva el empleo del ABP como estrategia metodológica ya que, además de permitir contextualizar las prácticas y ayudar en el análisis y relación de los resultados obtenidos, ha hecho la asignatura más interesante (74% de los estudiantes a favor). Por otro lado, el 65% de los estudiantes considera que el hecho de trabajar estos proyectos en equipo permite extraer conclusiones más ambiciosas. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Snowdon al implementar el ABP en laboratorios de Química Orgánica (Snowdon, 2020), donde los estudiantes también señalaron que trabajar con ABP incrementa la motivación y les ayuda a desarrollar su pensamiento crítico.

CONCLUSIONES

En general, la aplicación del ABP a la asignatura de LBQA del Grado de Química ha supuesto una mejora en el proceso de enseñanza-aprendizaje de los estudiantes. Esta estrategia metodológica ha permitido que los estudiantes mejoren la capacidad de análisis crítico de los resultados con respecto a la metodología tradicionalmente empleada en esta asignatura. Además, se ha conseguido una mayor contextualización de las prácticas dotando a la asignatura de un carácter más global y favoreciendo enormemente el trabajo colaborativo. No obstante, se debe tener en cuenta que la tipología de estudiantes puede influenciar el correcto desarrollo de esta estrategia metodológica y, por tanto, el equipo docente debe controlar aquellos aspectos que puedan estar relacionados con el ritmo de trabajo de los proyectos, como concentrar más prácticas en las primeras sesiones de la asignatura para minimizar posibles dificultades debido a la capacidad de trabajo del grupo o incorporar una tutoría de control del proyecto. Por otro lado, también se deben controlar aspectos relacionados con las relaciones interpersonales entre los alumnos, como puede ser la transferencia de resultados, mediante sistemas que eviten posibles retrasos en la difusión de estos resultados a estudiantes pertenecientes a otros proyectos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración de los estudiantes del Laboratorio Básico de Química Analítica, así como de los profesores implicados.

REFERENCIAS

- Ayala-Cabrera, J.F, Pérez-Ràfols, C., Núñez, O. & Serrano, N. (2019). Rúbrica per a l'avaluació de la capacitat d'anàlisi crític en una presentació. *OMADO: Objectes i Materials Docents*. <http://hdl.handle.net/2445/134939>.
- Barkley, E.F., Cross, K.P. & Major, C.H. (2007). *Técnicas de Aprendizaje Colaborativo: Manual Para El Profesorado Universitario*. Madrid: Ediciones Morata.
- Blumenfeld, P.C., Soloway, E., Marx, R.W., Krajcik, J.S., Guzdial, M. & Palincsar, A.M. (1991). Motivating Project-Based Learning: Sustaining the Doing, Supporting the Learning. *Educational Psychologist*, 26, 369-398.
- Caamaño, A. (2005). Trabajos prácticos investigativos en química en relación con el modelo atómico-molecular de la materia, planificados mediante un diálogo estructurado entre el profesor y estudiantes. *Educación Química*, 16(1), 10-18.

Davidson, N., Major, C.H. & Michaelsen, L.K. (2014). Small-group learning in higher education—cooperative, collaborative, problem-based, and team-based learning: An introduction by the guest editors. *Journal on Excellence in College Teaching*, 25 (3&4), 1-6.

Freeman, S., Eddy, S.L., McDonough, M., Smith, M.K., Okoroafor, N., Jordt, H. & Wenderoth, M.P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Science of the USA*, 111, (23) 8410-8415.

Laal, M. & Ghodsi, S.M. (2012). Benefits of collaborative learning. *Procedia-social and Behavioral Science*, 31, 486-490

Martínez Torregrosa, J., Domènech Blanco, J.L., Menargues, A. & Romo Guadarrama, G. (2012). La integración de los trabajos prácticos en la enseñanza de la química como investigación dirigida. *Educación Química*, 23 (1), 112-126.

Morales Bueno, P. (2009a). Uso de la metodología de aprendizaje basado en problemas (ABP) para el aprendizaje del concepto de periodicidad química en un curso de Química General. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 75 (1), 130-139.

Morales Bueno, P. (2009b). Logros en motivación y el tercer nivel de estructura del conocimiento: un estudio empírico en contextos de aprendizaje correspondientes a una modalidad híbrida ABP. *Educación*, XVIII, 34, 73-92.

Salaburu, P., Guy, H. & Mora, J.G. (2011). *España y el proceso de Bolonia. Un encuentro imprescindible*. Madrid, España: Academia Europea de Ciencias y Artes.

Snowdon, M.R. (2020). Fundamental developments in the undergraduate organic chemistry laboratory. Department of Chemistry, University of Waterloo. <https://doi.org/10.35542/osf.io/hz6xf>

Svinicki, M. & McKeachie, W.J. (2015). *Experimental Learning: Case-Based, Problem-Based, and Reality-Based*. En Svinicki, M., McKeachie, W. J. (eds). *McKeachie's Teaching Tips: Strategies, Research and Theory for College and University Teachers* (203-212): Belmont.