

**Educación para transformar:
Innovación pedagógica, calidad
y TIC en contextos formativos**

**David Cobos-Sanchiz
Eloy López-Meneses
Antonio-Hilario Martín-Padilla
Laura Molina-García
Alicia Jaén-Martínez**

ISBN: 978-84-1122-469-7

Implementación del Aprendizaje Basado en Proyectos en la enseñanza de Química Analítica: Un caso práctico.

Lucía Olmo García. Universidad de Granada (España).

Irene Serrano García. Universidad de Granada (España).

Romina P. Monasterio. Universidad Nacional de Cuyo (Argentina).

Patricia Reboredo Rodríguez. Universidade de Vigo (España).

Alegría Carrasco Pancorbo. Universidad de Granada (España).

1. Introducción.

En la impartición de materias en el ámbito de la Química, muchas universidades persiguen, lógicamente, un aprendizaje en el que el estudiante aprenda a través de su experiencia, siempre dentro un marco conceptual y operativo concreto y una planificación docente bien diseñada.

Como muchas de las técnicas y metodologías que requieren un aprendizaje activo, el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) propicia que el estudiante intente ser autodidacta, despierta su motivación, curiosidad, creatividad y razonamiento crítico a la vez que permite la integración de la teoría con la práctica, la habilidad para buscar información, el gusto por el estudio y la capacidad de autoevaluar lo aprendido (Blumenfeld et al., 1991; Morales y Landa, 2004; Navarro, 2006; Marra et al, 2014).

Se plantea una situación para que los alumnos “aprendan haciendo” y descubran cómo se pueden aplicar de forma real y tangible los conocimientos que van adquiriendo. Esta forma de trabajar aumenta la implicación y compromiso de los estudiantes y los ayuda a estructurar su conocimiento, desarrollar tareas cognitivas de nivel superior, alcanzar una comprensión más profunda de la materia y desarrollar al máximo su potencial intelectual (Freeman et al., 2014; Morales Bueno, 2009). Además, el ABP también fomenta el trabajo colaborativo entre estudiantes, lo cual puede influir muy positivamente en su rendimiento académico (Barkley et al., 2007; Laal y Ghodsi, 2012; Davidson, Major y Michaelsen, 2014). Es por ello que esta estrategia metodológica puede tener un gran potencial en la educación superior, especialmente en el campo de las ciencias experimentales (Svinicki y Mckeachie 2015; Ayala-Cabrera et al., 2020).

Si se tuvieran que resaltar los rasgos más diferenciadores del ABP frente a métodos más tradicionales, podríamos centrarnos en tres aspectos (ver Figura 1). A nivel curricular, el ABP dota de una importancia crucial a los objetivos de aprendizaje y la integración de conocimientos. A los estudiantes se les asigna un alto grado de participación en la toma de decisiones y en la organización del aprendizaje.

La función del profesor deja de ser la de transmisor de conocimientos y habilidades, para pasar a ser asesor del aprendizaje, coordinador y persona de apoyo. El profesor inicia, organiza y fomenta las situaciones de aprendizaje.

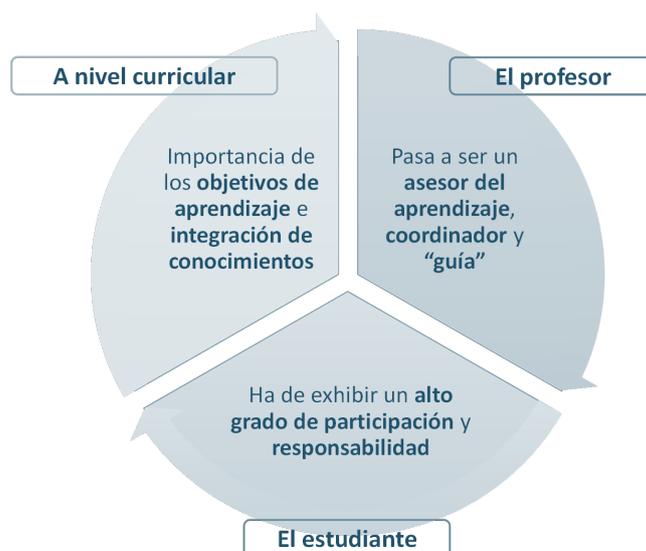


Figura 1. Tres de los aspectos diferenciadores del ABP.

Estudios realizados implementando este tipo de aprendizaje han señalado sistemáticamente un alto nivel de satisfacción de los estudiantes, que suelen destacar la relevancia de estas herramientas tanto para su formación profesional, como personal, cubriendo así muchas de sus expectativas educacionales. Además, en muchos casos, grupos de alumnos participantes han manifestado que la experiencia de aplicación del ABP les ha servido para reforzar los conceptos teórico-prácticos vistos en clase (al haberlos aplicado durante el desarrollo del proyecto). El ABP es indudablemente una estrategia muy eficaz para demostrar a los estudiantes cómo los conocimientos adquiridos a lo largo de un curso pueden integrarse para dar solución a problemas reales (Rodríguez-Sandoval y Cortés-Rodríguez, 2010; Nagarajan y Overton, 2020; Situmorang et al., 2022; Vasconcelos et al., 2022).

En el presente trabajo se propone la implementación del ABP como estrategia metodológica en la asignatura Metodologías Bioanalíticas Avanzadas, de tercero del Grado en Bioquímica de la Universidad de Granada, que entre seminarios y prácticas tiene asignadas 24 horas presenciales (de un total de 60 horas). Desde nuestro punto de vista, el ABP puede aportar un valor añadido a las asignaturas que tengan cierto carácter experimental, ya que proporciona un contexto interesante para el trabajo práctico y anima a los estudiantes a: formular preguntas; discutir ideas; definir sus objetivos; elegir las muestras a analizar y la herramienta analítica a utilizar para resolver el problema; diseñar y planificar sus experimentos; generar, recoger y analizar datos; sacar conclusiones; comunicar sus resultados; e identificar posibles mejoras.

2. Metodología.

2.1. Contexto universitario.

La experiencia que se recoge en esta comunicación se realizó en la materia de Metodologías Bioanalíticas Avanzadas, asignatura que pertenece al módulo Biotecnológico del Grado en Bioquímica de la Universidad de Granada. Es impartida por el Departamento de Química Analítica en el tercer curso del Grado y tiene carácter optativo. Tiene un número máximo de matriculados fijado en 30 estudiantes (varía ligeramente cada curso académico), que se organizan como "Grupo grande" para las clases de teoría, clases de problemas, algunos seminarios y la sesión inicial de preparación de prácticas; y como "Grupos reducidos", de entre 4-6 integrantes aproximadamente, para realizar actividades dirigidas grupales, seminarios

relacionados con las prácticas, sesiones experimentales y visita a un laboratorio o centro de investigación externo.

El temario teórico de la asignatura incluye 5 temas: Tema 1. Introducción a la Bioanalítica; Tema 2. Tratamiento de muestra en análisis metabolómico (selección, almacenamiento, muestreo y distintos tipos de extracción); Tema 3. Técnicas de análisis en Metabolómica I (cromatografía de gases, cromatografía de líquidos y electroforesis capilar); Tema 4. Técnicas de análisis en Metabolómica II (espectrometría de masas y resonancia magnética nuclear); y Tema 5. Otras herramientas analíticas de aplicación en Metabolómica (técnicas para la determinación de metales e introducción a los sensores (bio)químicos).

El temario práctico, que se trabaja en los seminarios, sesiones experimentales, actividades dirigidas y visita externa, cubre aspectos importantes como:

- Búsqueda de aplicaciones donde se describa la determinación de algún biomarcador
- Calibración y sus fundamentos. Validación de métodos bioanalíticos
- Resolución de problemas de calibración, de cálculos de los parámetros analíticos de un método, y de cálculo de parámetros cromatográficos/electroforéticos
- ¿Cómo desarrollar (optimizar y validar) una metodología analítica de aplicación en el ámbito de la Metabolómica?
- Determinación de metabolitos de interés en extractos de fluidos biológicos y/o de alimentos mediante herramientas separativas acopladas a potentes sistemas de detección y
- Visita a la Unidad LC/GC-MS y la de RMN del Centro de Instrumentación Científica de la Universidad de Granada (o a otro laboratorio externo de interés en el contexto de la asignatura).

2.2. Proyecto planteado.

En el curso 2021/2022 la pregunta que se les ha planteado a los estudiantes para que afrontasen su resolución en grupos reducidos ha sido:

¿Qué antioxidantes existen en la hoja de olivo y en qué cantidad se hallan los más abundantes?

Los propios estudiantes decidieron quiénes serían los integrantes de cada uno de los grupos reducidos para abordar el proyecto. En otras actividades dirigidas de la asignatura y dinámicas de grupo realizadas, el agrupamiento fue completamente aleatorio para propiciar interacciones entre todos los matriculados en la asignatura.

Como puede apreciarse y se comentará con más detalle en la sección 3.1., creemos que la pregunta cumplía todos los requisitos generales exigibles y además, podría resultar interesante a los estudiantes y les conduciría a ahondar en todas y cada una de las etapas del proceso analítico (planteamiento inicial del proyecto, toma de muestras, pre-tratamiento y tratamiento de las mismas, elección de la herramienta analítica a emplear y condiciones de análisis, establecimiento de los parámetros analíticos de la metodología, y cuantificación de los compuestos de interés, así como en el tratamiento de datos experimentales y formulación de conclusiones).

2.3. Esquema de la implementación del ABP.

La implementación del ABP en la asignatura de Metodologías Bioanalíticas Avanzadas se ha realizado de acuerdo con el esquema que se recoge en la Figura 2.



Figura 2. Esquema que recoge las diferentes etapas en la implementación del ABP en la asignatura de Metodologías Bioanalíticas Avanzadas.

En este caso, el camino que hemos seguido ha estado definido por diferentes etapas. En primer lugar, (1) se eligió el tema de trabajo y se planteó la "pregunta motriz" ("driving question"): *¿Qué antioxidantes existen en la hoja de olivo y en qué cantidad se hallan los más abundantes?* A continuación, (2) se formaron los equipos (de entre 4 y 6 estudiantes) y (3) se definió el producto final a conseguir y los objetivos de aprendizaje prioritarios.

Los diferentes grupos (4) hicieron una primera estimación de cuál podría ser la posible planificación, la distribución del tiempo y la asignación de diferentes roles a los miembros del equipo, y posteriormente, (5) comenzaron la búsqueda de bibliografía y el estudio en profundidad. Tenían que recopilar información sobre la importancia de las hojas de olivo como subproducto de la industria oleícola, qué posible uso se les podría dar, su composición (compuestos antioxidantes y otros fitoquímicos), las diferentes variedades de olivo, cuáles son las más comunes, etc. Al tratarse de una asignatura de Química Analítica, era fundamental averiguar todo lo concerniente a cómo se extraen los compuestos antioxidantes de la hoja de olivo y qué herramientas analíticas se pueden utilizar para determinarlos, así como las ventajas e inconvenientes de cada una. En este punto, sería crucial que todos los miembros del equipo discutieran con el profesor el planteamiento de las sesiones prácticas y las muestras a considerar, el tratamiento de la muestra a realizar, la técnica analítica a utilizar, el material de laboratorio (instrumentos y reactivos) a emplear, etc.

Etapas clave del proyecto fueron (6) la realización de todo el trabajo práctico (extracción de las muestras, establecimiento de las condiciones analíticas para realizar las determinaciones, evaluación de los parámetros analíticos de la metodología usada e inyección de las muestras en el sistema), así como la generación de los resultados experimentales y (7) el estudio exhaustivo de los datos obtenidos y su evaluación crítica. Todo ello condujo a (8) la presentación del "producto final", es decir, el informe justificado que llevó al equipo a poder responder a la pregunta inicial. Llegados a esta fase, es fundamental la difusión de los resultados, para que los miembros del equipo puedan compartir sus experiencias y mostrar con orgullo todo el trabajo realizado. El último elemento de todo este ciclo es (9) la evaluación y reflexión final, que debe considerar no sólo el producto final, sino todo el proceso de trabajo, incluyendo la autoevaluación, la coevaluación y la heteroevaluación. Es primordial identificar lo que podría haberse hecho de forma diferente y formular recomendaciones de mejora.

3. Resultados y Discusión.

3.1. ¿Cómo diseñar un proyecto y qué requisitos ha de cumplir?

Parece pertinente comenzar esta sección concretando qué se entiende por proyecto. El término "proyecto" se define como un proceso único que consiste en un conjunto de actividades coordinadas y controladas, con fechas de inicio y fin, llevadas a cabo para lograr un objetivo conforme con requisitos específicos. En el contexto que nos ocupa, el objetivo del proyecto es la resolución del problema.

Otra definición de proyecto que se emplea con frecuencia es: "Un instrumento de aprendizaje cooperativo que aborda una realidad para que el alumnado la analice e intervenga en ella; y cuyo objetivo no es buscar la mera transmisión de contenidos, sino crear experiencias educativas que proporcionen un marco personal y del grupo de alumnos que intervienen en la realización de los proyectos" (Cascales, Carrillo y Redondo, 2017).

La presentación del proyecto se realiza mediante una pregunta; formular la misma adecuadamente (presentar correctamente el proyecto), es una tarea bastante compleja que requiere de una labor de reflexión importante (Hung, 2016). Suele elaborarse dentro de un equipo de profesores involucrados en un módulo o bloque que aportan a la narración los detalles o información pertinente para que cuando los estudiantes exploren el problema, se planteen -siempre y cuando el problema está bien formulado- los objetivos que se pretenden alcanzar.

Existe una gran diversidad de proyectos, pero, desde nuestro punto de vista, en todos ellos hemos de encontrar los siguientes elementos en común:

- Han de estar centrados en el estudiante y dirigidos por él.
- Deben estar claramente definidos, con un inicio, un desarrollo y un final.
- Los proyectos deben ser interesantes y relevantes para los estudiantes, de manera que capten su atención y la dirijan a la/s materia/s involucrada/s.
- El contenido ha de ser significativo para los estudiantes y, en la medida de lo posible, contener conceptos, técnicas y competencias relacionadas con otras disciplinas de la titulación.
- Deben de propiciar oportunidades para la reflexión y autoevaluación por parte del estudiante.
- Los proyectos han de ser sensibles a la cultura local y socialmente apropiados.
- Deben de poder establecerse conexiones entre lo académico, la vida y las competencias laborales.
- Deben guardar relación con los conocimientos previos de los estudiantes y, al mismo tiempo, comprender una serie de elementos desconocidos que demanden más información.
- Han de reflejar la complejidad de los problemas de la vida real (naturalidad del contexto).

A todos estos requisitos generales, el equipo docente de esta materia, le añadió los específicos del ámbito de la Química Analítica, que se centraron en que el estudiante tuviera un estrecho acercamiento a todas y cada una de las etapas del proceso analítico. Dichas etapas han sido recogidas en la Figura 3.

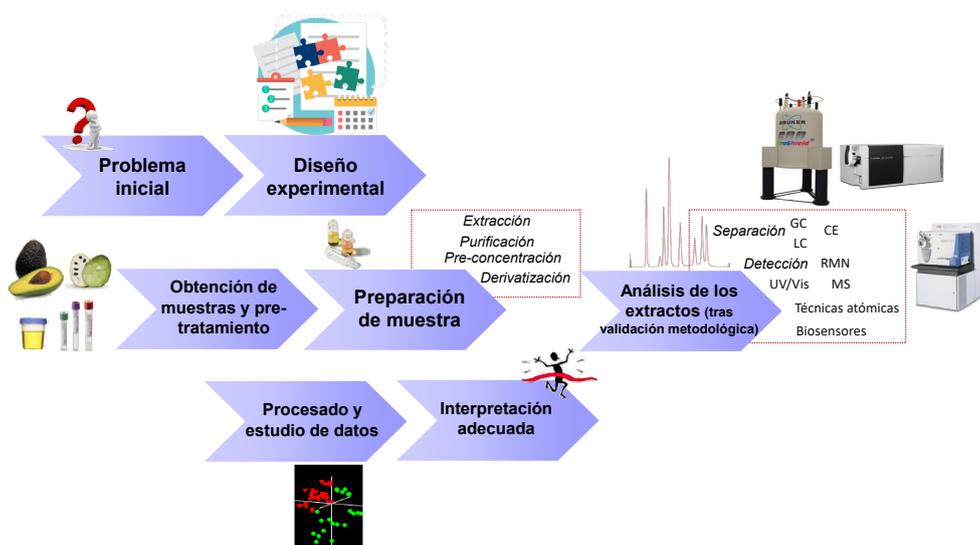


Figura 3. Flujo de trabajo (work-flow) donde se indican las etapas del proceso analítico.

Nos pareció de vital importancia hacer comprender a los estudiantes que por muy potente que sea la herramienta analítica empleada, si las muestras no son representativas y no están bien seleccionadas, el proyecto no podrá resultar exitoso. De igual modo, les hicimos hincapié en que es posible obtener datos experimentales muy valiosos, pero si el analista no sabe tratarlos correctamente, no será viable alcanzar información relevante.

3.2. Organización de las sesiones, distribución temporal y descripción de algunos aspectos específicos de las distintas fases del proyecto.

Esta sección tratará de resumir del modo más claro y sencillo posible cómo se han organizado todas las actividades relacionadas con el ABP en el contexto de esta asignatura.

Los seminarios juegan un papel muy importante en la enseñanza universitaria en general y en esta asignatura en particular (donde se les dedica un buen número de horas -nuestra propuesta sería de 14 h-), dada su gran flexibilidad. Generalmente se conciben como el complemento ideal de las clases de teoría y de las prácticas de laboratorio.

La propuesta para esta asignatura es la utilización de los seminarios para complementar la formación integral de los estudiantes. Como se mencionaba, se han impartido varios seminarios, que se recogen en la tabla siguiente (Tabla 1) en orden cronológico; se indica también dónde se han intercalado las sesiones de laboratorio y la elaboración de los informes finales, exposición de los resultados y actividades de difusión/divulgación, así como si el seminario ha sido impartido al grupo grande o, por el contrario, a cada uno de los grupos reducidos.

Grupo de estudiantes	Seminario	Nº sesiones	Temáticas a tratar
Grupo grande	Seminario 1	2	Calibración y sus fundamentos. Validación de métodos bioanalíticos
Grupo grande	Seminario 2	3	Resolución de problemas de calibración, de cálculos de los parámetros analíticos de un método, y de cálculo de parámetros cromatográficos/electroforéticos
Grupo grande	Seminario 3	2	¿Cómo desarrollar (optimizar y validar) una metodología analítica de aplicación en el ámbito de la Metabolómica?
Grupo grande	Seminario 4	2	Introducción al ABP y seminario inicial de preparación de prácticas
Grupos reducidos	Seminario 5	3	Reuniones de cada subgrupo (contextualización, búsqueda de información, planteamiento de objetivos, elaboración de los protocolos que recojan todo el trabajo experimental a realizar, etc.)
Grupos reducidos		2	Realización de las sesiones experimentales
Grupos reducidos	Seminario 6	3	Estudio de los datos generados por cada subgrupo en las sesiones experimentales
Grupo grande y/o trabajo personalizado		1	Elaboración de los informes finales, exposición de los resultados y difusión de los mismos

Tabla 1. Propuesta de la asignatura de Metodologías Bioanalíticas avanzadas en relación a la impartición de seminarios

En el contexto de esta asignatura, donde se estudian distintas herramientas analíticas de aplicación en el ámbito de la Metabolómica, resulta de especial trascendencia explicar a los estudiantes (seminarios 1, 2 y 3) conceptos tales como: Calibración y sus fundamentos; Tipos de calibración; Calibración instrumental; y Validación de un método bioanalítico y Parámetros a evaluar de mayor relevancia. Aunque en las clases de teoría se explique cómo se procede para poner a punto una metodología analítica y después validarla (independientemente de la herramienta analítica a emplear), conviene reforzar dicho conocimiento teórico, dotándolo de un carácter más aplicado.

Los seminarios 4, 5 y 6 son absolutamente fundamentales en el desarrollo global de la asignatura. Sólo el seminario 4 es impartido al grupo grande; en él se intenta transmitir a los estudiantes la dinámica que se sigue para abordar las prácticas. Para ello, se les explica en qué consiste el ABP y los principales beneficios de aplicarlo. Estudiantes de cursos precedentes cuentan su experiencia, resumiendo sus proyectos de prácticas e identificando cuáles, desde su punto de vista, fueron los puntos fuertes y más críticos de todo el proceso. Una parte muy importante del seminario 4 es describir del modo más detallado posible cuáles son los objetivos que se persiguen y cuáles serán los materiales “entregables” a evaluar.

El seminario 5 se divide en tres sesiones en las que se pretende realizar una buena contextualización del tema, abordar la búsqueda de información, que el subgrupo empiece a definir su visión acerca de cómo resolver el problema, qué muestras seleccionarán y sus objetivos concretos, que se comience la elaboración de los protocolos que recojan todo el trabajo experimental a realizar, etc. Todo este esfuerzo desembocará en un guión de prácticas, que contendrá los siguientes apartados:

- Introducción, contextualización e interés del proyecto
- Objetivo/s
- Descripción de las muestras con las que se trabajará
- Protocolo de preparación de las muestras
- Condiciones de la separación cromatográfica y del sistema de detección
- Cómo se llevará a cabo el cálculo de parámetros analíticos (de los que se decida evaluar) / Validación del método (sólo teórica; no se dispone de tiempo para realizarla completa)
- Cualquier otro aspecto que parezca interesante recoger
- Bibliografía

En la experiencia que estamos relatando, la plataforma que hemos tenido disponible para las sesiones experimentales ha sido un sistema de cromatografía líquida acoplada a un detector de arreglo de diodos y un espectrómetro de masas (LC-DAD/ESI-Ion Trap MS). Se trata de una plataforma muy adecuada para ser empleada en este proyecto y, además, tener un contacto más estrecho con ella les será muy útil a los estudiantes en su futuro laboral.

Cuando las sesiones correspondientes al seminario 5 se trabajan adecuadamente, se logra afrontar las clases experimentales con todo debidamente organizado y definido, y todos los estudiantes son perfectamente conscientes de cómo proceder en las sesiones de prácticas (nuestra propuesta de duración de las sesiones experimentales es, como mínimo, de 10 horas).

El seminario 6 (que también está compuesto por varias sesiones para los distintos grupos reducidos) se centra en el estudio de todos los datos generados. Los integrantes de los grupos reducidos, con el apoyo y supervisión del profesor, decidirán qué datos han de extraer y cómo enfocar el procesado y estudio de los mismos. En el problema planteado, el trabajo analítico debía centrarse tanto en la identificación, como en la cuantificación de ciertos compuestos de la hoja de olivo, lo que implicaba el empleo de patrones puros con fines cualitativos y cuantitativos (estableciendo las correspondientes rectas de calibrado). Son los propios estudiantes los que tratan de obtener resultados y conclusiones que permitan resolver el problema planteado.

Todos los hallazgos alcanzados se resumen en un informe final, que debe incluir una serie de *ítems* y conservar una estructura global pactada por estudiantes y profesores, sin limitar por ello la creatividad en la elaboración; de hecho, la creatividad y la rigurosidad son dos aspectos esenciales. Del mismo modo, cada grupo reducido prepara una presentación oral que se expone en clase (ante el grupo grande), donde cada equipo de trabajo cuenta su experiencia, resultados, balance global, etc. Por último, también se les da difusión a estos proyectos por medio de la web del Grado y la página de noticias de la Universidad de Granada.

La evaluación y reflexión final, considera, lógicamente, no sólo el producto final, sino todo el proceso de trabajo, e incluye la autoevaluación, la coevaluación y la heteroevaluación. Le dedicamos bastante tiempo a identificar lo que podría haberse hecho de forma diferente y formular recomendaciones de mejora.

En esta asignatura resulta muy enriquecedor que todos los estudiantes pongan en común sus distintas experiencias. Primero, porque enseguida se observa cómo partiendo de una misma pregunta, cada equipo de trabajo le da al proyecto un enfoque distinto, todos ellos igualmente válidos y rigurosos. También porque los estudiantes suelen valorar muy positivamente y con gran curiosidad las ideas de sus compañeros y están muy atentos a lo que otros grupos les explican. Por último, porque cada grupo reducido se esfuerza por mostrar a los demás con gran satisfacción el proyecto que han desarrollado y se implican más de lo que posiblemente harían si “la audiencia” fuera a estar compuesta exclusivamente por los profesores.

3.3. Reflexiones y valoración global.

El equipo docente de esta materia ha intentado realizar una evaluación teórica en función de nuestra experiencia tras aplicar el ABP. Realizar este tipo de análisis crítico permitirá, en futuras ediciones, prever las posibles dificultades que se puedan presentar a la hora de su implantación, anticipándonos a las mismas. Las fortalezas y debilidades más señaladas por los profesores del equipo docente se han resumido en la Figura 4.

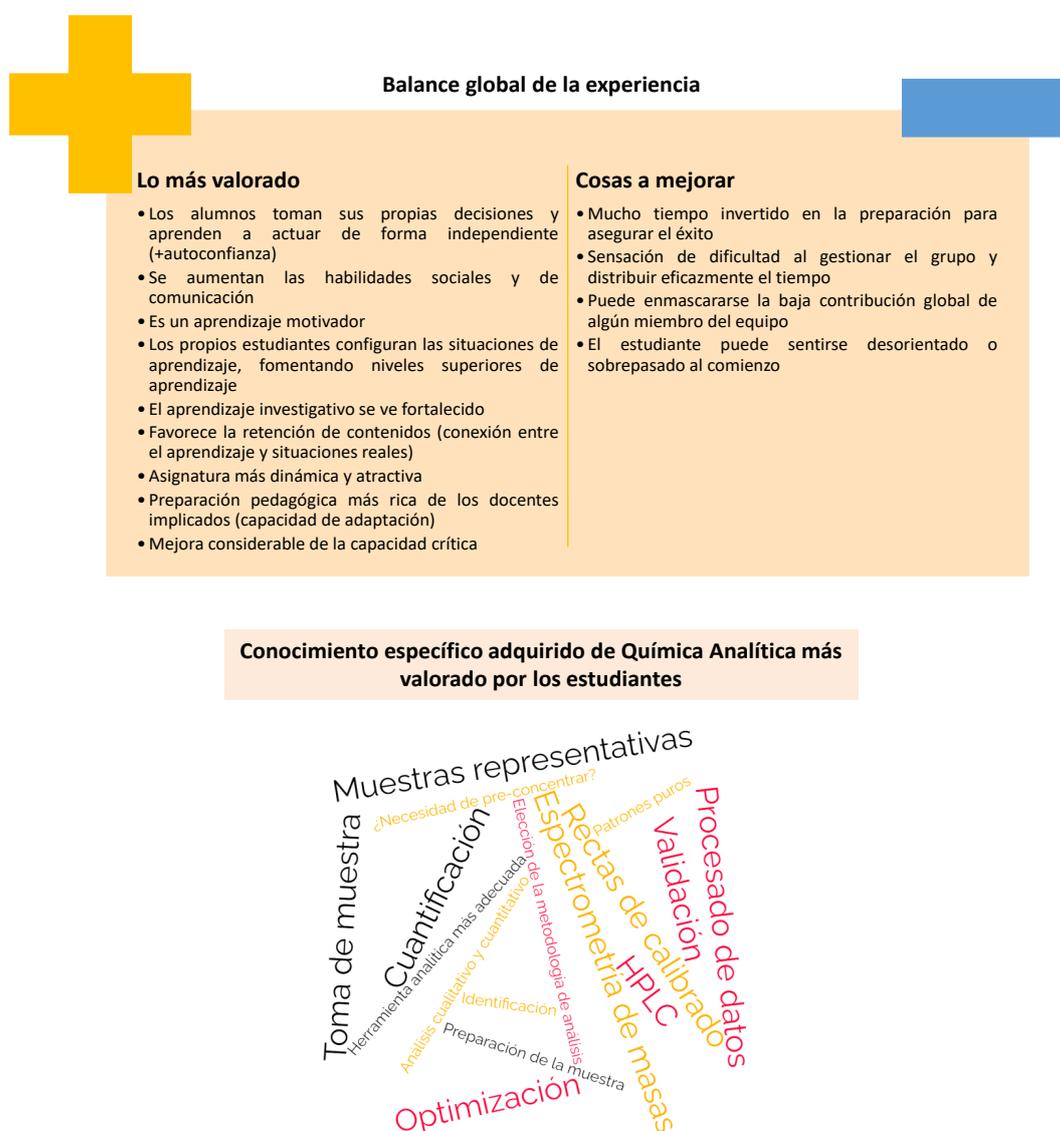


Figura 4. Aspectos de la experiencia de ABP más valorados positiva y negativamente por los implicados en la misma. En la parte inferior, se enumeran algunos de los conceptos de Química Analítica más trabajados y apreciados por los alumnos.

En la figura además de resaltar los puntos más positivos y negativos de la experiencia, hemos intentado darle algo de protagonismo al conocimiento específico de Química Analítica que los estudiantes indican haber adquirido de modo más recurrente (y valoran más positivamente) en las encuestas anónimas realizadas al final de la asignatura.

4. Conclusiones y perspectivas futuras.

Las experiencias compartidas por los diferentes profesores que presentan esta contribución, siguiendo este enfoque del ABP, han sido muy satisfactorias. En nuestra opinión, este tipo de iniciativa permite la activación de los conocimientos previos y facilita la asimilación de nuevas competencias, promueve la asociación de “problemas científicos” con contextos reales, estimula a los estudiantes a trabajar en equipo, y les motiva a “aprender por su cuenta” (ser más autodidactas). Aunque los profesores participantes somos conscientes del tiempo de preparación que acciones de este tipo requieren y del hecho de que, a veces, es difícil gestionar los grupos y distribuir de modo óptimo el tiempo, nos sentimos muy satisfechos de promover el empleo de este tipo de metodologías docentes. Los resultados obtenidos y las opiniones y valoraciones del alumnado, nos animan a seguir haciéndolo.

Uno de los aspectos a mejorar, señalado tanto por profesores como por estudiantes, fue el hecho de que puede enmascarse la baja contribución global de algún miembro del equipo durante la aplicación del ABP. Esto podría resolverse dándole más peso a las herramientas de co-evaluación (evaluación por pares) y aplicándolas entre los miembros de un mismo equipo (grupo reducido).

Será también indispensable el asegurar un ambiente lo más distendido y de confianza posible, que permita identificar (y solventar) cualquier percepción inicial del estudiante que le haga sentirse sobrepasado y/o desorientado, cosa que es bastante frecuente al comenzar a aplicar el ABP.

En próximos cursos académicos, queremos aplicar todo lo aquí recogido pero sin plantear una única pregunta/proyecto inicial para toda la clase. Serán los distintos grupos reducidos los que elegirán las posibles temáticas de trabajo y, una vez conocidos sus intereses, se diseñará un proyecto específico para cada grupo de trabajo. Eso asegurará el interés, la atención y la motivación y hará que los integrantes del equipo se sientan aún más partícipes y responsables desde el comienzo. La toma en consideración de las experiencias e intereses, de las necesidades y características individuales, y la participación de todos los miembros del grupo en todas las fases del proceso (incluso en la propia formulación de la “*driving question*”) contribuirán a hacer más productivo el proceso de aprendizaje.

Referencias bibliográficas

- Ayala-Cabrera, J.F., Pérez-Ràfols, C., Núñez, O. y Serrano, N. (2020). Implementación del aprendizaje basado en proyectos en laboratorios de Química Analítica del Grado de Química. *Avances en ciencias e Ingeniería* 11(2), 31-40.
- Barkley, E.F., Cross, K.P. y Major, C.H. (2007). *Técnicas de Aprendizaje Colaborativo: Manual Para El Profesorado Universitario*. Ediciones Morata.
- Blumenfeld, P.C., Soloway, E., Marx, R.W., Krajcik, J.S., Guzdial, M. y Palincsar, A.M. (1991). Motivating Project-Based Learning: Sustaining the Doing, Supporting the Learning. *Educational Psychologist* 26, 369-398.
- Cascales, A., Carrillo, M.E. y Redondo, A.M. (2017). ABP y tecnología en Educación Infantil. *Píxel-Bit. Revista de Medios y Educación* 50, 201-209. <http://dx.doi.org/10.12795/pixelbit.2017.i50.14>

- Davidson, N., Major, C.H. y 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. y 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. <https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>
- Hung, W. (2016). All PBL starts here: The problem. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning* 10(2). <https://doi.org/10.7771/1541-5015.1604>
- Laal, M. y Ghodsi, S.M. (2012). Benefits of collaborative learning. *Procedia-social and Behavioral Science* 31, 486-490. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.12.091>
- Marra, R.M., Jonassen, D.H., Palmer, B. y Luft, S. (2014). Why Problem-Based Learning Works: Theoretical Foundations. *Journal on Excellence in College Teaching* 25(3-4), 221-238.
- Morales, P. y Landa, V. (2004). Aprendizaje Basado en Problemas. *Theoria* 13(1), 145-157.
- Morales Bueno, P. (2009). 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* 18(34), 73-92.
- Nagarajan, S. y Overton, T. (2020). Promoting Systems Thinking Using Project- and Problem-Based Learning. *Journal of Chemical Education* 96(12), 2901-2909. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00358>
- Navarro, L.P. (2006). Aprendizaje activo en el aula universitaria: El caso del aprendizaje basado en problemas. *Miscelánea Comillas. Revista De Ciencias Humanas y Sociales* 64(124), 173-196.
- Rodríguez-Sandoval, E. y Cortés-Rodríguez, M. (2010). Evaluación de la estrategia pedagógica "aprendizaje basado en proyectos": Percepción de los estudiantes. *Revista da Avaliação da Educação Superior* 15 (1), 143-158.
- Situmorang, M., Sinaga, M., Sitorus, M. y Sudrajat, A. (2022). Implementation of Project-based Learning Innovation to Develop Students' Critical Thinking Skills as a Strategy to Achieve Analytical Chemistry Competencies. *Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research* 56(1), S41-S51. <https://doi.org/10.5530/ijper.56.1s.41>
- Svinicki, M. y 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* (pp. 203-212). CENGAGE Learning Custom Publishing
- Vasconcelos, M.K., Guedes, M.N., Melo, P.G.F., Amore, C.R. y Linares J.J. (2022). An example of project-based learning with the support of a process simulator applied to the chemical engineering final course project. *Computer Applications in Engineering Education* 30(2), 490-504. <https://doi.org/10.1002/cae.22468>