

MEJORA DEL APRENDIZAJE EN QUÍMICA ANALÍTICA A TRAVÉS DE ACTIVIDADES TEÓRICO-PRÁCTICAS: ACERCAR EL LABORATORIO AL AULA Y EL AULA AL LABORATORIO

Elisabet Fuguet*, Susana Amézqueta, Jacinto Guiteras, José Fermín López, Anna Rigol, Fernando Benavente

Departamento de Ingeniería Química y Química Analítica, Facultad de Química, Universidad de Barcelona, 08028 Barcelona, España
elifuguetj@ub.edu

Abstract

Un problema recurrente en los estudios de Química es la dificultad que presenta el estudiantado para relacionar los conceptos teóricos con las aplicaciones prácticas y viceversa. En este trabajo se muestra el desarrollo de dos actividades de Química Analítica básica, dirigidas a una asignatura teórica y a otra práctica, con la finalidad de interrelacionar sus conocimientos y mejorar los aprendizajes. En la asignatura teórica se ha introducido una sesión de laboratorio demostrativa que da pie a una actividad que se trabaja simultáneamente a las explicaciones teóricas del profesor sobre equilibrios en disolución. En la asignatura práctica se ha profundizado en los conceptos teóricos de una valoración potenciométrica a partir de la reproducción del experimento con un simulador.

En ambos casos las valoraciones, tanto por parte del profesorado como del alumnado, han sido altamente positivas y se ha constatado que ambas actividades cumplen el propósito para el cual fueron diseñadas.

1. Introducción

El Grado de Química de la Universidad de Barcelona ha experimentado importantes modificaciones del plan de estudios a lo largo de los años. De entre las diferentes modificaciones, una de las más importantes y que perdura en el actual Grado, es la semestralización de las asignaturas. Es decir, convertir asignaturas anuales en dos o más asignaturas de un máximo de duración de un semestre. En el caso de las asignaturas teórico-prácticas, esto implicó convertir asignaturas anuales, donde teoría y práctica se abordaban de forma complementaria durante el mismo período lectivo, en dos asignaturas independientes programadas en semestres consecutivos: una teórica y otra enteramente práctica.

Aunque a nivel organizativo esta separación resulta en cierto modo ventajosa, el hecho de segregar los conceptos teóricos de la aplicación práctica puede tener un impacto negativo en el grado de aprendizaje de parte del estudiantado [1,2]. En la asignatura teórica, se incrementa la dificultad para relacionar los conceptos teóricos con las aplicaciones prácticas, que se abordan meramente con clases de problemas o algunas actividades concretas como puede ser la visualización de vídeos. Por otra parte, una vez

en el laboratorio, un porcentaje importante del estudiantado sigue los procedimientos experimentales sin cuestionarse la teoría que hay detrás de éstos.

Este es el caso de las asignaturas “Química Analítica” (QA) de 6 créditos ECTS y que se imparte en el tercer semestre del Grado de Química, y “Laboratorio Básico de Química Analítica” (LBQA), asignatura de 4,5 ECTS, que se imparte en el cuarto semestre del mismo Grado. Estas dos asignaturas, impartidas en el mismo curso y en semestres consecutivos, están totalmente relacionadas entre sí. En QA, de carácter teórico, se estudian los equilibrios en disolución y las aplicaciones volumétricas y gravimétricas más importantes relacionadas con éstos. La metodología docente habitual en QA es la combinación de clases expositivas con seminarios en los que se aborda, esencialmente, la resolución de problemas basados en aplicaciones volumétricas y gravimétricas. En cuanto a LBQA, es una asignatura totalmente experimental, en la que el estudiantado realiza 4 horas diarias de prácticas de laboratorio durante tres semanas consecutivas. Las prácticas se basan principalmente en la realización de determinaciones volumétricas, gravimétricas y valoraciones potenciométricas en muestras reales de diferente complejidad, relacionadas con los conceptos teóricos estudiados en QA. La metodología docente consiste en asignar una práctica a cada estudiante, y éstos, a título individual, prepararla. A continuación, el profesorado los entrevista, para evaluar el grado de comprensión de la determinación. Con el visto bueno del profesorado, y bajo su supervisión, se pasa a la ejecución experimental y finalmente se discuten los resultados obtenidos. En este caso, la entrevista previa constituye una herramienta para incidir en los conocimientos teóricos de la determinación. Pero es justamente en este punto en el que se detecta el alto grado de desconexión entre los conocimientos de la asignatura teórica previa y las determinaciones que se plantean al estudiantado. Aunque al finalizar cada determinación deban responder a cuestiones asociadas en las que se incide en sus fundamentos teóricos, estas acciones tienen un efecto limitado sobre el aprendizaje.

Es por ello que el objetivo del presente estudio ha sido desarrollar actividades teórico-prácticas para las asignaturas QA y LBQA, que permitan acercar el laboratorio al aula y viceversa, con la finalidad de mejorar el aprendizaje en Química Analítica básica.

2. Metodología

Las actividades teórico-prácticas desarrolladas en cada una de las dos asignaturas son de naturaleza diferente, por lo que la metodología del estudio se divide en dos bloques en función de la asignatura a la que va dirigida la actividad.


Asignatura Química Analítica

Para esta asignatura se ha desarrollado una actividad basada en la resolución de un problema real, en el que el estudiantado debe determinar la concentración de ácidos sulfúrico y fosfórico en un desincrustante industrial a partir de una volumetría ácido-base. Así, a través de la actividad, es posible trabajar una determinación volumétrica de interpretación compleja correspondiente a la mezcla de dos analitos.

La actividad planteada se desarrolla durante 5 semanas y sigue la secuencia temporal que se describe a continuación:

1. Formación de grupos y planteamiento del problema: a partir de las indicaciones del profesorado, los estudiantes forman grupos de 3-4 personas. El profesor presenta el problema (Fig. 1). Es importante remarcar que la presentación del problema se realiza la segunda semana del semestre lectivo, cuando el alumnado todavía no posee todos los conocimientos necesarios para resolverlo.

Algunos productos de limpieza industrial basan su poder desincrustante en la combinación de los ácidos sulfúrico y fosfórico, junto con algunos tensioactivos no espumantes. La determinación de los ácidos sulfúrico y fosfórico se puede realizar a partir de una volumetría ácido-base, utilizando una base fuerte como el hidróxido de sodio como valorante.



A continuación se realizarán una serie de 9 valoraciones ácido-base en las que se analizará: ácido sulfúrico (experimentos 1 y 2); ácido fosfórico (experimentos 3, 4 y 5); una mezcla de estos dos ácidos (experimentos 6 y 7); y la muestra problema del producto de limpieza (experimentos 8 y 9). Se utilizarán dos indicadores diferentes para detectar el punto final: fenolftaleína y anaranjado de metilo.

Fig. 1. Enunciado del problema planteado para la actividad de la asignatura QA.

2. Sesión de laboratorio: una vez planteado el problema, se realiza una sesión demostrativa en el laboratorio. La Facultad de Química posee un laboratorio polivalente diseñado para este tipo de actividades, entre otras. Este laboratorio está equipado con sistemas de cámaras y poyatas y vitrinas móviles que permiten la visualización ampliada, a través de pantallas, de la determinación que realiza el profesor. Además, dispone de varias pantallas con lo que es posible visualizar diferentes proyecciones al mismo tiempo (Fig. 2).

Para esta sesión, de 50 minutos de duración, el profesor tiene preparadas las disoluciones y materiales necesarios para la realización de las 9 determinaciones: primero, se valoran por separado ácidos sulfúrico y fosfórico, utilizando dos indicadores diferentes (fenolftaleína y anaranjado de metilo). A continuación, se valoran mezclas

de los dos ácidos, y finalmente el producto desincrustante, en todos los casos con los dos indicadores.



Fig. 2. Fotografía de la sesión desarrollada en el laboratorio polivalente Montserrat Puig Cardona, de la Facultad de Química de la UB.

Antes de empezar cada valoración, el profesor pregunta al estudiantado qué cree que va a suceder a través de la aplicación *Socrative* (www.socrative.com). En este punto del curso, las respuestas son fruto de los conocimientos previos (esencialmente de asignaturas de química básica), insuficientes en muchas ocasiones para contestar correctamente. Seguidamente el profesor realiza la determinación y se visualizan las respuestas al cuestionario en una de las pantallas. A menudo, el porcentaje de acierto es bajo, lo que da lugar a fomentar el debate con los estudiantes y despertar su curiosidad para saber por qué no sucede lo que esperaban. Después de cada experimento, el estudiantado apunta en una ficha de trabajo el volumen de valorante consumido, requerido para la parte de la actividad que se realiza posteriormente fuera del laboratorio. Además, esta ficha contiene información adicional necesaria para algunas de las cuestiones que se plantearán en clase. La Fig. 3 muestra un fragmento de la ficha de trabajo, donde es posible visualizar la información proporcionada para cada experimento.

3. Resolución del problema: el profesor prepara 4 bloques de preguntas relacionadas con los experimentos anteriores. Cada bloque trata de uno de los siguientes conceptos: cálculo de concentraciones, cálculo del pH al inicio y final de la valoración, selección de indicadores y error de valoración y, finalmente, justificación del volumen de valorante gastado en función del indicador. Durante las siguientes 4 semanas, los estudiantes, trabajando en grupo, contestan un bloque de preguntas por semana y entregan las respuestas al profesor. Cada bloque está pensado para que sea contestado secuencialmente a medida que el profesor va explicando la teoría en clase. De esta forma, los estudiantes conectan las explicaciones del profesor con los experimentos realizados en el laboratorio. Finalizadas las cuatro semanas, el estudiantado debe ser

capaz de interpretar cada uno de los experimentos y proponer una solución justificada al problema planteado.

| FICHA DE TRABAJO | |
|--|---|
| Experimentos demostrativos sobre la valoración de ácidos | |
| Disolución valorante: NaOH 0,2 M | |
| Indicadores e intervalo de viraje: | Anaranjado de metilo (3,1 - 4,4) Rojo de metilo (4,8 - 6,0) Fenolftaleína (8,0 - 9,8) |
| Registrad los datos que se os piden en relación con cada uno de los experimentos en el recuadro correspondiente para utilizarlos en la resolución de la actividad. | |
| Experimento 1 | |
| Disolución problema: 50 ml de H ₂ SO ₄ | Indicador: Anaranjado de metilo |
| pH _{experimental} inicial: 1,67 | |
| pH _{experimental} en el punto final: 4,54 | |
| Color inicial del indicador: <input type="text"/> | |
| Color del indicador en el punto final: <input type="text"/> | |
| Volumen de valorante gastado en el punto final (mL): <input type="text"/> | |
| Experimento 2 | |
| Disolución problema: 50 ml de H ₂ SO ₄ | Indicador: Fenolftaleína |
| pH _{experimental} inicial: 1,68 | |
| pH _{experimental} en el punto final: 9,56 | |
| Color inicial del indicador: <input type="text"/> | |
| Color del indicador en el punto final: <input type="text"/> | |
| Volumen de valorante gastado en el punto final (mL): <input type="text"/> | |

Fig. 3. Fragmento de la ficha de trabajo proporcionada al estudiantado durante la sesión de laboratorio.

4. Corrección de la actividad y retroacción: el profesor revisa las distintas entregas y cada grupo obtiene una primera calificación. Sin embargo, el alumnado tiene la oportunidad de corregir las partes incorrectas y realizar una segunda entrega para mejorar la calificación final de la actividad. La actividad representa un 10% de la calificación final de la asignatura.

Asignatura Laboratorio Básico de Química Analítica

Para la asignatura de laboratorio se ha desarrollado una actividad teórico-práctica basada en simulaciones. Para ello se ha utilizado *Curtipot* [3], programa de simulación que conocen de la asignatura previa QA. Éste es un programa libre, basado en una hoja de cálculo en formato Microsoft Excel, que permite realizar cálculos de pH en sistemas ácido-base, simular curvas de valoración, y obtener representaciones varias como, por ejemplo, los diagramas de distribución de especies o la variación de la capacidad amortiguadora en función del pH.

La actividad consta de una primera parte práctica, en la que el profesor entrega al estudiante una muestra problema, que es una mezcla de dos ácidos, dos bases, o un ácido y su base conjugada. La composición de la mezcla no se desvela al estudiante, aunque sí se proporciona una lista con una serie de posibles componentes (ácido sulfúrico, ácido fosfórico, dihidrogenofosfato de sodio, monohidrogenofosfato de sodio, fosfato de sodio, hidróxido de sodio, hidrogenocarbonato de sodio o carbonato de sodio) [4]. A continuación, el estudiante realiza dos valoraciones de la muestra problema con dos valorantes: la primera con un ácido fuerte y la segunda con una base fuerte. Estas valoraciones se llevan a cabo con dos valoradores automáticos. Finalmente, a partir de la forma de las curvas de valoración obtenidas, de los pH en los puntos clave (inicial, semineutralización y punto de equivalencia), y la concentración del valorante, los

estudiantes deben identificar los dos componentes de la mezcla y calcular sus concentraciones.

En una segunda parte de la actividad, teniendo en cuenta la composición de la mezcla propuesta anteriormente, deben simular su curva de valoración con *Curtipot*. La concordancia entre la curva simulada y la experimental les permite confirmar la validez de las deducciones y cálculos realizados a partir de la curva experimental. La Fig. 4 muestra un ejemplo de curva experimental y de curva simulada con *Curtipot*.

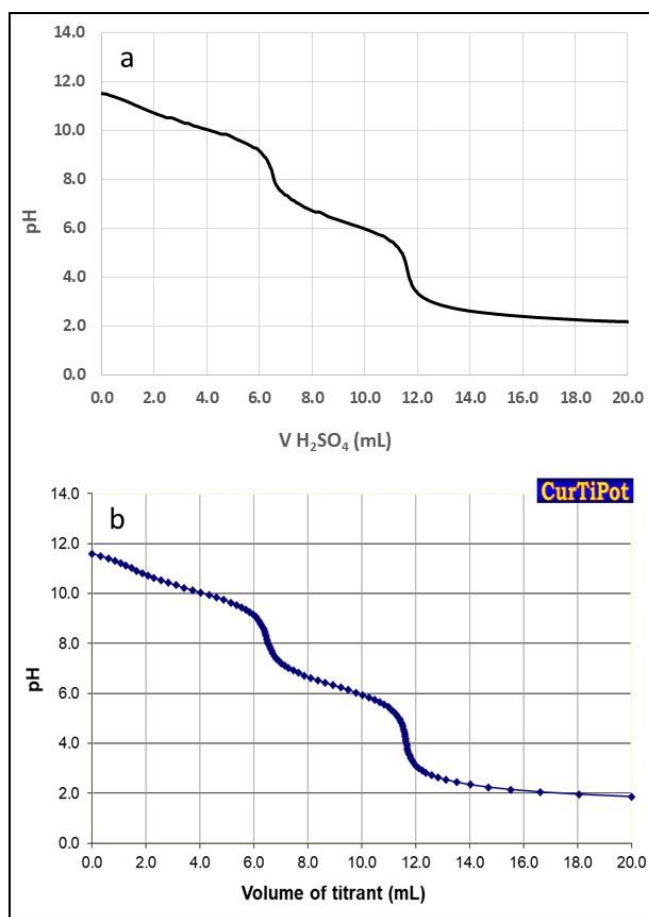


Fig. 4. Ejemplo de curva de valoración experimental (a) y simulada (b) de una mezcla de hidróxido de sodio 0,005 M y carbonato de sodio 0,02 M, valorada con ácido sulfúrico 0,05 M.

3. Resultados

Las actividades propuestas son dos ejemplos claros de cómo trabajar de forma simultánea práctica y teoría. Para el caso de la asignatura teórica, QA, el simple hecho de realizar una sesión demostrativa de laboratorio es una forma de romper la rutina y trabajar de forma diferente a lo esperado por el alumnado, captando de esta forma su atención y motivándolo a trabajar en la actividad. Una vez en el laboratorio, la dinámica viene fuertemente marcada por el profesor. En este sentido, es importante lanzar preguntas que fomenten el debate, como, por ejemplo, preguntar con anterioridad a la determinación práctica qué creen ellos que va a pasar. El uso de *Socrative* es muy útil para este propósito puesto que permite visualizar al momento y de forma anónima las respuestas del

alumnado, proporcionando una herramienta más para el debate. A modo de ejemplo, la Fig. 5 muestra el resultado obtenido para cuatro de las preguntas efectuadas durante la sesión de laboratorio y el enunciado correspondiente a la primera de las preguntas. Como es de esperar por sus limitados conocimientos en este momento del curso, el porcentaje global de acierto es bajo, por debajo del 50 % en los cuatro casos. El hecho que experimentalmente no suceda lo que ellos habían pronosticado es un elemento más que contribuye a la motivación y a despertar la curiosidad científica durante la sesión.

Pregunta 1: Se valora una disolución de ácido sulfúrico idéntica a la del experimento 1, pero utilizando fenoltaleína como indicador en lugar de naranja de metilo. El volumen de valorante gastado en esta determinación será...

| | Pregunta 1 | Pregunta 2 | Pregunta 3 | Pregunta 4 | Puntuación (0-100) | Respuestas correctas |
|--------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| Estudiante 1 | igual que el del experimento anterior | igual que el del experimento anterior | alrededor de 5 mL | alrededor de 20 mL | 50 | 2 |
| Estudiante 2 | superior al del experimento anterior | superior al del experimento anterior | alrededor de 15 mL | alrededor de 20 mL | 75 | 3 |
| Estudiante 3 | superior al del experimento anterior | igual que el del experimento anterior | alrededor de 5 mL | alrededor de 10 mL | 0 | 0 |
| Estudiante 4 | superior al del experimento anterior | superior al del experimento anterior | alrededor de 10 mL | alrededor de 15 mL | 25 | 1 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| % acierto | 20,0% | 40,0% | 33,3% | 33,3% | | |

Fig.5. Resultados obtenidos con *Socrative* para algunas de las preguntas efectuadas durante la sesión demostrativa.

El número de determinaciones (9) realizadas durante la sesión son adecuadas al tiempo de la sesión (50 minutos) y proporcionan una base que permite el trabajo de todos los conceptos que se introducirán en las sesiones de teoría. Un punto clave de la actividad es el hecho de trabajar sobre el mismo problema a medida que avanzan las explicaciones teóricas, puesto que ayuda a relacionar en todo momento los conceptos explicados con la determinación práctica. Además, el haber visualizado una determinación en el laboratorio es de gran utilidad para la comprensión de otras aplicaciones con fundamento similar.

Otro elemento a destacar de la actividad es la sincronización entre el avance de la teoría y las entregas. Durante cada una de las 4 semanas siguientes a la sesión de laboratorio, el alumnado entrega las respuestas a cada uno de los bloques de preguntas. Estas preguntas están preparadas para que, en cada entrega, el alumnado trabaje los conceptos teóricos recién explicados. En este punto es importante el papel del profesor, puesto que, al plantear las preguntas del bloque en cuestión, debe relacionarlas primero con los conceptos recién explicados, y después con la sesión práctica. De nuevo, esto permite reforzar la conexión entre la teoría y la práctica por parte del estudiantado. Además, implica que se debe llevar la asignatura al día, al menos en lo correspondiente al tema de equilibrios ácido-base, que es el más extenso del programa.

Aunque suponga una labor de corrección más elevada por parte del profesor, la retroacción con posibilidad de realizar una segunda entrega funciona correctamente y está bien aceptada por la mayoría de los estudiantes. En todos los casos, la mejora en las respuestas cuando se

realiza una segunda entrega es sustancial. Este hecho es positivo puesto que implica que los estudiantes han reflexionado acerca de los errores y han trabajado más profundamente los conceptos. En los casos en que el grupo ha optado por realizar una segunda entrega, se ha calificado dos veces el bloque de preguntas, y las dos notas se han tenido en cuenta de cara a la calificación de la actividad.

En lo que se refiere a la asignatura práctica, LBQA, después de la primera parte completamente experimental, el estudiantado debe aplicar los conocimientos teóricos para deducir la identidad de la mezcla de compuestos de la disolución problema y calcular sus concentraciones. Además, una vez hecha la deducción y cálculos correspondientes, debe simular la curva experimental con *Curtipot*. Cabe destacar que para todo este proceso es indispensable recurrir a los fundamentos teóricos, por lo que la actividad es altamente satisfactoria desde el punto de vista de interrelacionar la práctica y la teoría.

La actividad se plantea durante la segunda de las tres semanas en las que se lleva a cabo la asignatura. De esta forma, el estudiante tiene tiempo suficiente para proponer una solución y simularla antes de que acabe el período de prácticas. En caso de que la propuesta realizada por el estudiante no sea la correcta (hecho que se constata rápidamente a partir de la simulación) hay tiempo suficiente como para que el profesor pueda discutir de forma individualizada los planteamientos realizados por el estudiante, guiarlo y reforzar algunos conceptos para que éste llegue a la solución correcta. La evaluación no sólo tiene en cuenta el resultado final, sino también todo el proceso y discusión con el profesor necesarios para llegar al resultado correcto.

La valoración de ambas actividades por parte del estudiantado es muy positiva y la gran mayoría coincide en que han sido de utilidad para relacionar e integrar conceptos. La Fig. 6 muestra la opinión del alumnado en relación a la actividad desarrollada en QA: más del 80% del alumnado considera que la sesión en el laboratorio fue interesante (Fig. 6a). En lo que se refiere a las entregas, valoran muy positivamente el trabajo en grupo (Fig. 6b) y, mayoritariamente, consideran que el tiempo entre entregas es adecuado (Fig. 6c). También consideran útil la retroacción con posibilidad de corregir los errores (Fig. 6d). En general, el alumnado está de acuerdo en que esta actividad es muy útil para preparar la asignatura (Fig. 6e) y poner en práctica la teoría. Además, más de un 80% prefiere esta actividad a otros tipos de actividades evaluables (Fig. 6f). Aunque la actividad tiene una duración total de más de un mes, consideran que la dedicación requerida es proporcionada al peso de la actividad en la calificación final de la asignatura (Fig. 6g). Finalmente, un 80% del estudiantado está satisfecho globalmente con la actividad (Fig. 6h).

Por parte del profesorado, la satisfacción con las dos actividades también es elevada, y se considera que se cumplen bien los objetivos para los que fueron diseñadas. Sin embargo, el profesorado coincide en que la primera de las actividades requiere una dedicación importante tanto de preparación de la sesión de laboratorio como de corrección de las entregas. Éste último punto es

especialmente significativo en grupos numerosos, para los que quizás se debería estudiar una reducción en el número de preguntas realizadas para simplificar el trabajo de retroacción y corrección.

evidencias objetivas para ello. Sin embargo, sería necesario consolidar las actividades en los programas de las asignaturas para poder hacer una valoración amplia a lo largo de varios cursos, y comparar los resultados con los de cursos previos.

Agradecimientos

Este proyecto se ha realizado en el marco del proyecto de investigación, mejora e innovación docente 2018PID-UB/012. El profesorado implicado es miembro del grupo de innovación docente GIDQACCS (Grupo de Innovación Docente Química Analítica en las Enseñanzas de Ciencias y Ciencias de la Salud) de la UB.

Referencias

- [1] E. Tempelman, A. Pilot, Strengthening the link between theory and practice in teaching design engineering: an empirical study on a new approach, *Int. J. Technol. Des. Educ.* 21 (2011) 261–275. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10798-010-9118-4>
- [2] W. J. DiBiase, E. P. Wagner, Aligning general chemistry laboratory with lecture at a large University, *School Science and Mathematics* 102 (2002) 158-171. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2002.tb18198.x>
- [3] I. G. R. Gutz, CurTiPot - pH and Acid-Base Titration Curves: Analysis and Simulation software, version 4.4.0 (http://www.iq.usp.br/gutz/Curtipot_.html, Mayo 2024).
- [4] J. Guiteras, R. Rubio, G. Fonrodona, *Curso experimental en Química analítica, Síntesis*, Madrid, 2007.

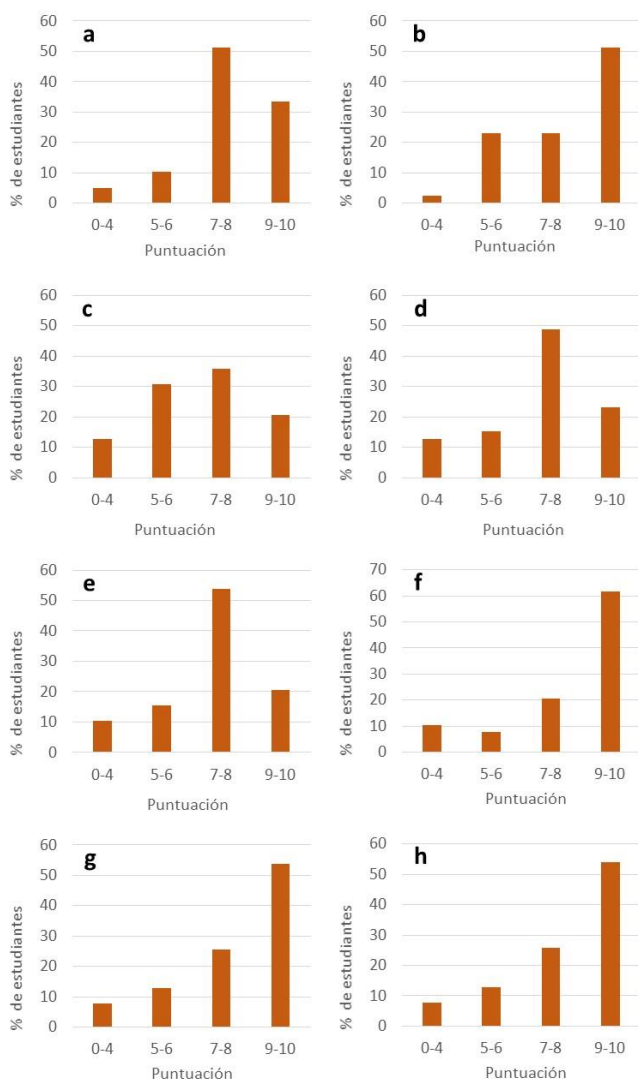


Fig. 6. Resultados de la encuesta de valoración de la actividad realizada en QA en uno de los grupos de la asignatura (n=39). Valoración del 0 al 10, donde 0 significa en total desacuerdo y 10 totalmente de acuerdo. a) La sesión en el laboratorio ha sido interesante. b) Trabajar en grupo ha sido positivo. c) El tiempo entre entregas ha sido adecuado. d) La retroacción y posterior corrección ha sido útil. e) La actividad ayuda a preparar la asignatura. f) Prefiero esta actividad a otras evaluables en el aula. g) La dedicación es proporcionada al peso de la actividad en la calificación final. h) Satisfacción global con la actividad.

En general, las calificaciones obtenidas por el alumnado en ambas actividades son elevadas, con promedios alrededor de 7-8. Sin embargo, a pesar de la buena valoración tanto del alumnado como del profesorado, es difícil evaluar con pruebas objetivas la mejora de los aprendizajes como resultado de las actividades. La inclusión de una o varias preguntas relacionadas con las actividades en exámenes o cuestionarios en línea, es una buena manera de recopilar