

Innovación en análisis cualitativo. Aplicación de un ciclo de mejora en el laboratorio de Química Analítica del Grado en Química

Innovation in qualitative analysis. Application of an improvement cycle in the Analytical Chemistry laboratory of the Chemistry Degree

Cristina Román-Hidalgo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6629-1398>

Universidad de Sevilla

Departamento de Química Analítica

croman2@us.es

DOI: <http://dx.doi.org/10.12795/9788447225408.090>

Pp.: 1367-1381



Resumen

En este trabajo se describe la aplicación de un Ciclo de Mejora en el Aula (CIMA) en la asignatura Química Analítica I de segundo curso del Grado en Química. El CIMA se ha llevado a cabo en las prácticas de laboratorio del segundo cuatrimestre de la asignatura, destinadas a trabajar los contenidos relacionados con el análisis cualitativo. El modelo metodológico empleado se centra en el alumnado, quien trabaja de forma individual y colectiva a través de distintas experiencias prácticas para extraer las conclusiones correspondientes, llevando así el peso del proceso de aprendizaje. Asimismo, la elaboración de los mapas de contenidos y la secuencia de actividades se ha llevado a cabo poniendo especial atención en relacionar los contenidos propios de este CIMA con los impartidos en el cuatrimestre anterior, enfocados al análisis cuantitativo. Por último, el análisis y evaluación del CIMA desarrollado durante este curso 2022/23 se ha realizado fundamentalmente empleando las escaleras de aprendizaje de los alumnos, contruidos a partir de los cuestionarios inicial/final.

Palabras clave: Química analítica I, grado en química, docencia universitaria, desarrollo profesional docente, análisis cualitativo.

Abstract

This work describes the application of an *Improvement Cycles in Classroom* (ICIC) in the subject Analytical Chemistry I of the second year of the bachelor's degree in Chemistry. The ICIC has been carried out in the laboratory practices of the second four-month period of the subject, aimed at working on the contents related to qualitative analysis. The methodological model used focuses on the students, who work individually and collectively through different practical experiences to draw the corresponding conclusions, thus carrying the weight of the learning process. Moreover, the preparation of the maps of contents and the sequence of activities has been carried out paying special attention to relating the contents of this ICIC with those taught in the previous four-month period, which were focused on quantitative analysis. Finally, the analysis and evaluation of the ICIC developed during this academic year 2022/23 has been carried out mainly using the students' learning scales, constructed based on the initial/final questionnaires.

Keywords: Analytical Chemistry I, degree in Chemistry, university teaching, teacher professional development, qualitative analysis.



Introducción

La asignatura elegida para la aplicación del CIMA (Delord, Hamed y otros, 2020), Química Analítica I, es una asignatura impartida en el segundo curso del Grado en Química y del Doble Grado en Química y en Ingeniería de Materiales. La estructura y organización de esta asignatura han sido modificadas muy recientemente para enlazar mejor sus contenidos con los del primer y tercer curso. Así, los contenidos que anteriormente eran objeto del primer cuatrimestre se imparten actualmente en el segundo cuatrimestre y viceversa.

En este caso, el CIMA se ha aplicado durante el segundo cuatrimestre en las prácticas de laboratorio de la asignatura, enfocadas fundamentalmente en el análisis cualitativo. Las prácticas se desarrollan a lo largo de 4 días en sesiones diarias de 3 horas, haciendo un total de 12 horas de CIMA, y la imparten dos profesores. El alumnado es un grupo reducido constituido por 13 alumnos que se distribuyen en grupos de 4 y 5, de manera que cada subgrupo realiza una práctica distinta cada día y va rotando de práctica a lo largo de la semana. Se realizan un total de 4 prácticas: análisis cualitativo de cationes, análisis cualitativo de aniones, tratamiento y separación por solubilidad de muestras sólidas inorgánicas (identificación de cationes y aniones), tratamiento y técnicas de separación para muestras inorgánicas y orgánicas (separación de una mezcla de hierro y níquel mediante intercambio iónico y extracción de polifenoles totales de café comercial). Al tratarse de pocos alumnos, se realizan únicamente 3 prácticas de forma simultánea, lo que facilita la docencia y favorece una mayor cercanía con el alumnado.

En el presente CIMA se relacionan y comparan constantemente los contenidos del segundo cuatrimestre con los del primer cuatrimestre, más enfocados al análisis cuantitativo y que formaron parte del CIMA anterior aplicado durante el curso general de docencia universitaria (Román-Hidalgo, 2022).

Diseño previo del CIMA

Mapas de contenidos y problemas claves

En estas prácticas de laboratorio se pueden diferenciar dos bloques dentro del análisis cualitativo, por un lado, la identificación de aniones y cationes y, por otro, separaciones, que incluyen dos procedimientos experimentales distintos. Así, en la figura 1 se muestran dos mapas de contenidos que relacionan los conceptos de cada bloque a partir de las preguntas claves planteadas (García, Navarro y otros, 2017). Además de los conceptos



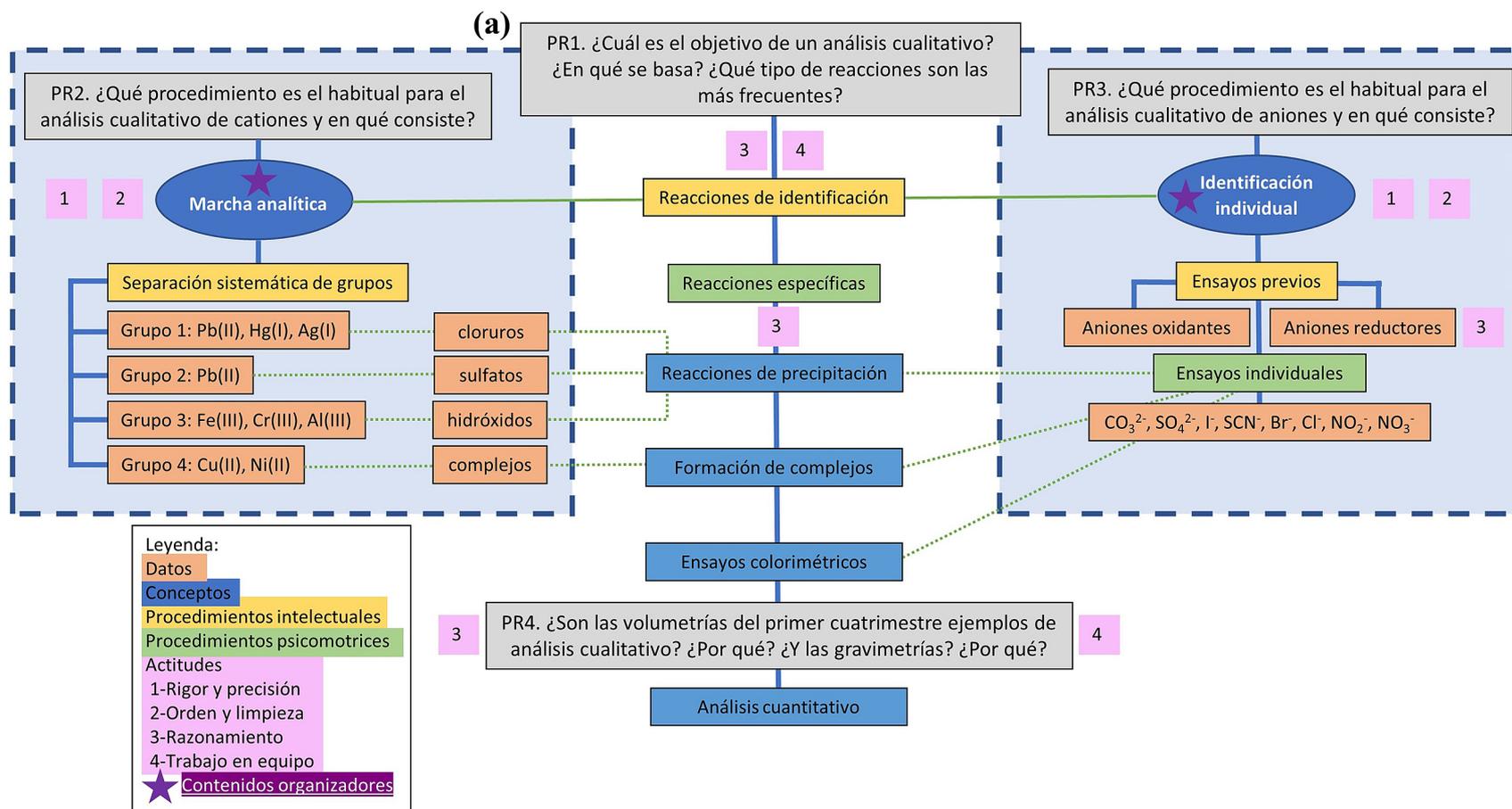


Figura 1. Mapas de contenidos y problemas: (a) identificación de aniones y cationes.



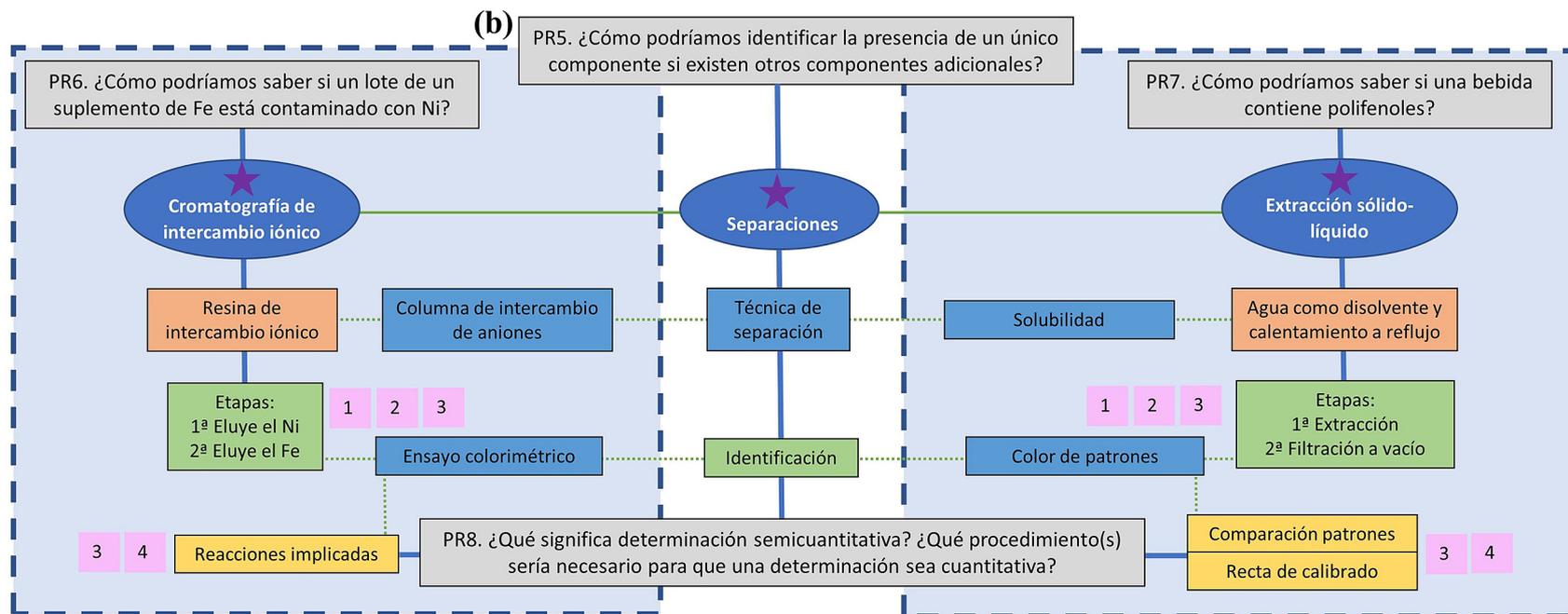


Figura 1. Mapas de contenidos y problemas: (b) separación de muestras inorgánicas y orgánicas.



propiamente dichos, se incluyen también los conocimientos procedimentales y actitudinales, así como las relaciones establecidas entre ellos.

Modelo metodológico y secuencias de actividades

El modelo metodológico impartido, representado en la figura 2, se repite cada día de prácticas, lo que constituye una sesión de 3 horas de duración. Esta metodología sitúa al alumno como principal protagonista, otorgándole el peso del proceso de aprendizaje (De Alba y Porlán, 2017).

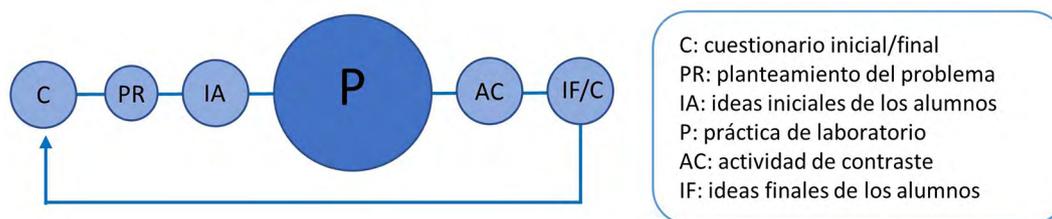


Figura 2. Modelo metodológico.

Cada sesión de prácticas comienza, en primer lugar, con la elaboración del cuestionario inicial por parte de los alumnos (día 1) y con la puesta en común de las respuestas proporcionadas a las preguntas claves de las que parte cada una de las prácticas. A continuación, cada alumno realiza de manera individual la práctica correspondiente a ese día, para lo cual tiene que analizar una muestra problema (o de composición desconocida). En cada práctica disponen, al menos, de dos muestras problema distintas, con el objetivo de que trabajen de manera independiente y razonada para sacar conclusiones propias. Una vez analizada la muestra, informarán a los profesores de los componentes que cada uno de ellos ha identificado, quienes sí conocen la composición exacta de cada problema. Con posterioridad o durante el desarrollo de la práctica, se incorpora una actividad de contraste con el objetivo de afianzar los conocimientos adquiridos y, adicionalmente, para fomentar el trabajo en equipo, puesto que se pretende que saquen conclusiones en común. Finalmente, al término del último día de prácticas, se les entrega el mismo cuestionario que el primer día para establecer así sus ideas finales.

Atendiendo a esta metodología, en la tabla 1 se describe la secuencia de actividades planteadas para cada sesión de 3 horas con indicación del tiempo invertido en cada una de ellas. Como se indicó con anterioridad, el modelo metodológico prácticamente se repite en cada sesión, por lo que se indica una única secuencia de actividades de manera general, indicándose en su caso las particularidades de cada práctica.



Tabla 1. Secuencia de actividades

Sesión: <i>Análisis cualitativo - Prácticas de laboratorio de Química Analítica I</i>	
Actividad Tiempo	Descripción
C 10 min	Al comienzo del primer día de laboratorio se les entrega el cuestionario inicial con todas las preguntas clave a fin de establecer sus conocimientos o ideas previas. El resto de los días, el tiempo dedicado a esta actividad se invertirá en las demás actividades.
PR/IA 10 min	Cada práctica se inicia con el planteamiento del problema o problemas claves y con la puesta en común de las respuestas de los alumnos al cuestionario con el objetivo de analizar entre todos cuáles son sus ideas previas o las premisas de las que parten. Estas ideas previas me servirán de guía para dar una pequeña explicación de la práctica y de los conceptos necesarios para su realización.
P 120 min	Tras la puesta en común de las respuestas de los alumnos al cuestionario, cada grupo comienza el desarrollo experimental de la práctica que le toca ese día siguiendo las recomendaciones indicadas en el guion de prácticas. Cada alumno trabajará de manera individual, para lo cual tendrá que escoger una muestra problema (desconocida) de entre las distintas disponibles, para analizarla e identificar su composición.
AC 20 min	Al final del procedimiento experimental o, en algunos casos, de manera simultánea, se propone una actividad de contraste diferente en cada sesión, tal y como se indica a continuación: <ul style="list-style-type: none"> - En la práctica de análisis cualitativo de cationes, una vez finalizados los ensayos individuales, se les pide que, suponiendo ensayos positivos en Fe (III), indiquen un posible método para determinar la concentración de este catión. Se pretende con ello, recordar el concepto de volumetrías de oxidación-reducción que vieron en el primer cuatrimestre. - En la práctica de análisis cualitativo de aniones, se les pide que indiquen un procedimiento para determinar la concentración de iones cloruro en la muestra, suponiendo ensayo positivo. En este caso, se pretende refrescar las volumetrías de precipitación. - Con respecto a la separación de Fe y Ni, por normal general, la muestra que se les proporciona contiene ambos iones, de manera que, una vez separados al pasar por la columna de intercambio iónico, realizan los correspondientes ensayos colorimétricos de identificación. En este caso, además de disponer de esa muestra, también se les proporciona a algunos de ellos una muestra que solo contiene uno de los dos iones, de manera que deben sacar conclusiones de los ensayos de identificación. Asimismo, se les proporciona como muestra un suplemento alimenticio de Fe y se les pide que indiquen si éste está contaminado con Ni. - Por último, en la práctica de los polifenoles del café, además de las dos muestras de café molido que por norma general analizan todos los grupos, en este caso, se les proporciona adicionalmente un café de cápsula de las que se emplean en las cafeteras actuales para que sigan exactamente el mismo procedimiento y comparen los resultados entre los distintos tipos de café.
IF/C 20 min	Por último, al final del último día de prácticas, se entregará de nuevo el mismo cuestionario inicial y, una vez completado por los alumnos, haremos una puesta en común de las respuestas finales para analizar su evolución (10 min cuestionario + 10 min puesta en común). En los días de prácticas anteriores, el tiempo correspondiente a esta actividad se invierte en el resto de las actividades.



Cuestionario inicial-final

Con el objetivo de establecer las ideas iniciales de las que parte el alumnado sobre las que adaptar la metodología a desarrollar, así como para evaluar posteriormente el grado de aprendizaje adquirido, se realiza un cuestionario inicial y final idénticos, constituidos exactamente por las mismas preguntas claves que se incluyen en los mapas de contenidos representados en la figura 1.

Inicialmente, se les indica que el cuestionario no es ningún tipo de examen y, por tanto, no es objeto de ser evaluado ni calificado, de manera que no tendrá ninguna repercusión en la nota final de la asignatura, que las preguntas que no sepan responder pueden dejarlas en blanco o responder simplemente *no lo sé*, y que su finalidad es únicamente valorar las ideas que tienen sobre la temática a tratar en estas prácticas de la asignatura como parte de una metodología de innovación docente. Asimismo, se les indica que se trata de un cuestionario anónimo, por lo que deben identificarse con un pseudónimo que puedan recordar. Dicho esto, el cuestionario inicial-final está constituido por las siguientes preguntas:

1. *¿Cuál es el objetivo de un análisis cualitativo? ¿En qué se basa? ¿Qué tipo de reacciones son las más frecuentes?*
2. *¿Qué procedimiento es el habitual para el análisis cualitativo de cationes y en qué consiste?*
3. *¿Qué procedimiento es el habitual para el análisis cualitativo de aniones y en qué consiste?*
4. *¿Son las volumetrías del primer cuatrimestre ejemplos de análisis cualitativo? ¿Por qué? ¿Y las gravimetrías? ¿Por qué?*
5. *¿Cómo podríamos identificar la presencia de un único componente si existen otros componentes adicionales?*
6. *¿Cómo podríamos saber si un lote de un suplemento de Fe está contaminado con Ni?*
7. *¿Cómo podríamos saber si una bebida contiene polifenoles?*
8. *¿Qué significa determinación semicuantitativa? ¿Qué procedimiento(s) sería necesario para que una determinación sea cuantitativa?*

Aplicación del CIMA

Relato resumido de las sesiones

Como se ha mencionado anteriormente, las prácticas se desarrollan a lo largo de 4 días en sesiones de 3 horas diarias, en este caso en horario



de mañana. Dado que se llevan a cabo 3 prácticas distintas de manera simultánea por grupos de alumnos, a continuación, se describe de manera general los aspectos más destacables de cada una.

El primer día de prácticas, se dio la bienvenida al laboratorio, se les colocó por grupos de 4 o 5 alumnos por mesa de trabajo y práctica y se les explicó cómo iban a ir rotando de prácticas a lo largo de la semana. Seguidamente, se les pasó el cuestionario inicial para que lo cumplimentaran, haciéndoles hincapié en que respondieran de forma sincera y anónima. A este respecto, llama la atención que algunos de ellos preguntaron si podían responder a todas las preguntas *no lo sé*, lo que *a priori* podía indicar cierto desinterés. Una vez recogidos los cuestionarios, cada profesor se reunió con un grupo de alumnos para dar una pequeña explicación de la práctica que iban a realizar ese día. En mi caso, comenzamos planteando de nuevo las preguntas del cuestionario relacionadas con esa práctica, para ver qué habían respondido e ir entre todos resolviendo las dudas que fueron surgiendo, muchas de ellas, comunes.

A continuación, cada alumno comenzó el desarrollo de la práctica de forma individual.

- El análisis cualitativo de cationes es una de las prácticas que más les llama la atención de forma general, puesto que es un procedimiento sistemático muy visual en el que van separando e identificando los distintos cationes presentes en la muestra. En esta práctica, cabe mencionar que los alumnos que han seleccionado la misma muestra problema para analizarla intentan trabajar de forma paralela para ver si ambos van obteniendo los mismos ensayos positivos, lo que favorece la motivación del grupo. A excepción de un alumno, que lleva un ritmo mucho más lento que los demás y no le da tiempo de analizar su muestra al completo, el resto del grupo da resultados bastante aceptables. Con respecto a la actividad de contraste, al principio andan un poco perdidos y algunos mencionan la gravimetría del primer cuatrimestre (donde determinaban Fe en puntilla). Finalmente, entre todos recordamos el concepto de volumetría y los distintos tipos que existen y llegamos a la conclusión que una posibilidad podría ser una volumetría redox.
- El análisis cualitativo de aniones les cuesta un poco más de trabajo porque son identificaciones individuales que exigen un poco más de destreza, por lo que algunos de ellos identifican aniones distintos pese a tener la misma muestra. En este caso, la actividad de contraste es mucho más fluida porque tienen más reciente los tipos de volumetrías de la práctica anterior, por lo que es más fácil que lleguen todos a la volumetría de precipitación que realizaron en el primer cuatrimestre para determinar la concentración de iones cloruro.



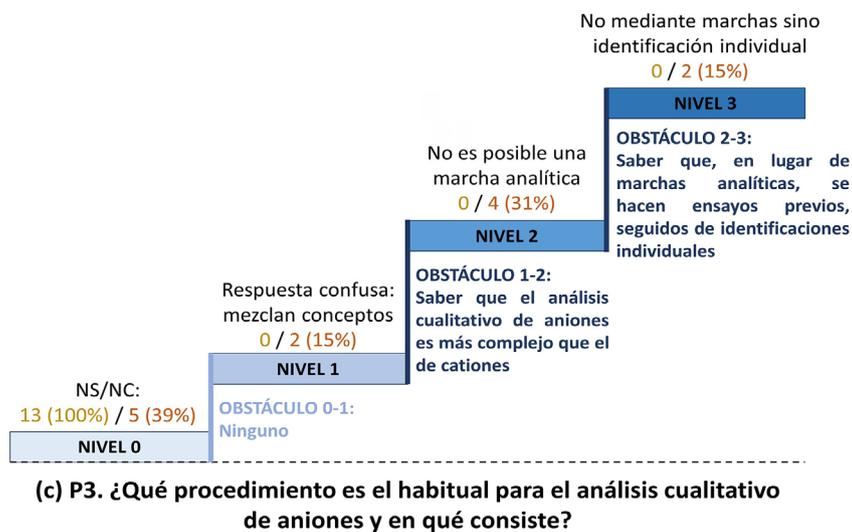
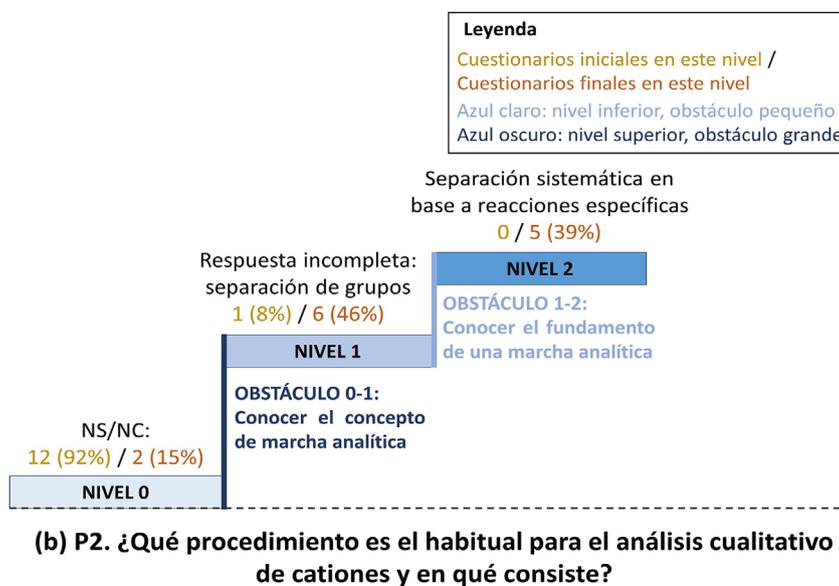
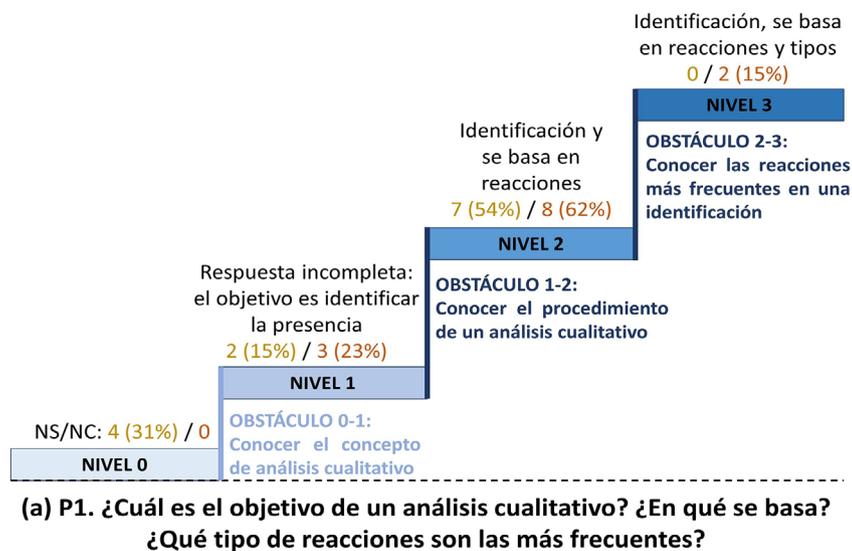
- La separación de Fe y Ni mediante columna de intercambio iónico es una práctica muy sencilla que habitualmente realizan rápidamente sin asimilar lo que están haciendo, generalmente porque todos analizan la misma muestra que saben que contienen los dos iones. En este caso, el hecho de que algunos de ellos tengan una muestra que solo contiene una de las dos especies hace que los ensayos colorimétricos ya no salgan como al resto de compañeros, lo que genera un debate interesante. Estas diferencias me sirven de base para que ellos sean los que me expliquen el fundamento de la práctica, de manera que afiancen realmente los conceptos de esta.
- Por último, la práctica de los polifenoles del café les parece muy interesante porque analizan muestras *reales* o que, para ellos, son más cotidianas, como el café molido y el de cápsula. Les propongo que, además de las dos muestras de café molido de las que habitualmente se dispone en el laboratorio, algunos de ellos analicen una muestra de cápsula para comparar los resultados de ambos tipos de café, lo que en general, toman como una buena idea y nos da bastante juego a la hora de debatir. En esta práctica hacen una determinación semicuantitativa, un concepto que les cuesta bastante trabajo, sobre todo porque llegan a resultados muy dispersos a pesar de analizar la misma muestra.
- El último día, una vez realizadas todas las prácticas, se les pasa de nuevo el mismo cuestionario, esta vez observando mayor participación en las respuestas de los alumnos. Con idea de hacer un repaso global a todas las sesiones y sacar conclusiones, se responden (una vez entregados los cuestionarios) las preguntas entre todos y en voz alta, de manera que son ellos mismos los que se van corrigiendo y van elaborando las justificaciones correspondientes.

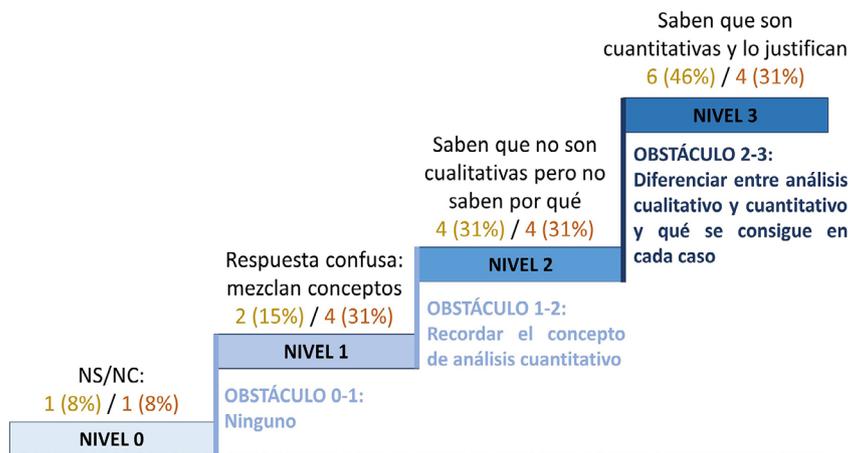
Evaluación del aprendizaje de los estudiantes

La evaluación del aprendizaje de los alumnos se ha realizado construyendo, a partir de las respuestas a los cuestionarios inicial-final, las escaleras de aprendizaje correspondientes a cada pregunta (Rivero y Porlán, 2017), las cuales se representan en la figura 3. Las escaleras constan de distintos niveles establecidos según los tipos de respuesta de los alumnos, con indicación de los obstáculos que deben superar para pasar de un nivel a otro. Se pueden diferenciar distintos tonos de azul según el nivel y el obstáculo; así en azul claro se representan niveles de aprendizaje inferiores y obstáculos más pequeños, mientras que los azules más oscuros indican niveles de aprendizaje superiores y obstáculos mayores.

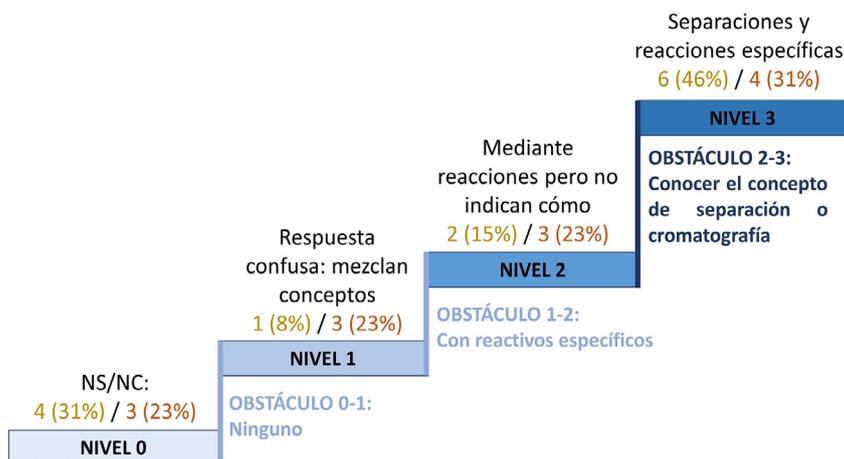


Figura 3.
Escaleras de aprendizaje de los alumnos:
(a) pregunta 1,
(b) pregunta 2,
(c) pregunta 3,
(d) pregunta 4,
(e) pregunta 5,
(f) pregunta 6,
(g) pregunta 7,
(h) pregunta 8.

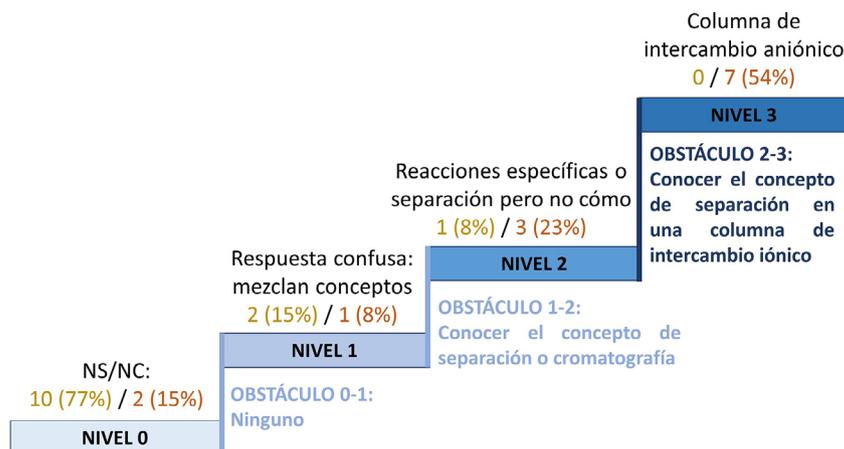




(d) P4. ¿Son las volumetrías del primer cuatrimestre ejemplos de análisis cualitativo? ¿Por qué? ¿Y las gravimetrías? ¿Por qué?



(e) P5. ¿Cómo podríamos identificar la presencia de un único componente si existen otros componentes adicionales?

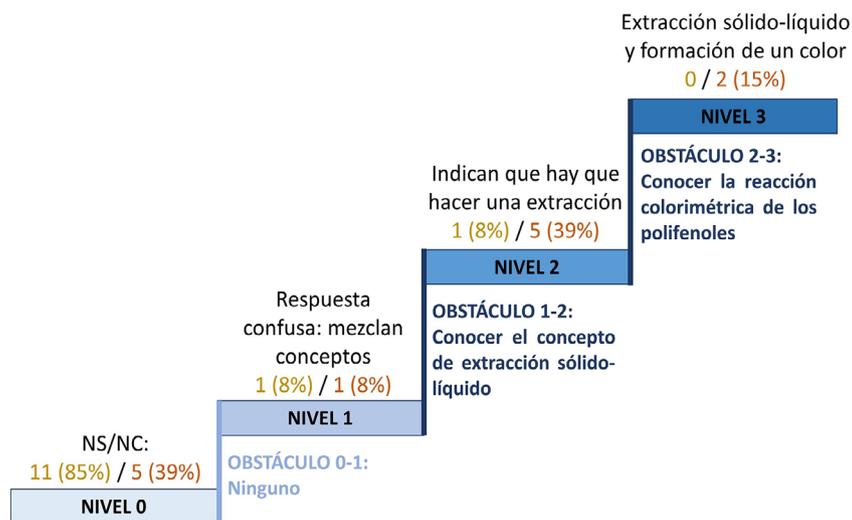


(f) P6. ¿Cómo podríamos saber si un lote de un suplemento de Fe está contaminado con Ni?

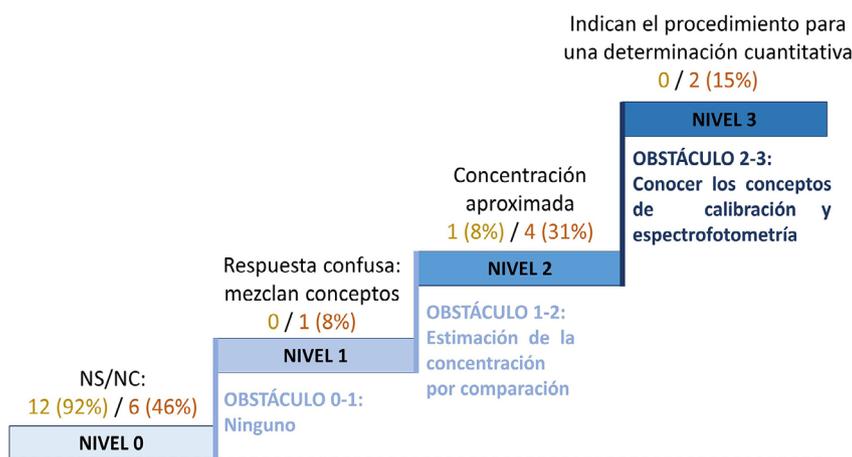
Figura 3. Escaleras de aprendizaje de los alumnos: (a) pregunta 1, (b) pregunta 2, (c) pregunta 3, (d) pregunta 4, (e) pregunta 5, (f) pregunta 6, (g) pregunta 7, (h) pregunta 8 (continuación).



Figura 3.
Escaleras de aprendizaje de los alumnos:
(a) pregunta 1,
(b) pregunta 2,
(c) pregunta 3,
(d) pregunta 4,
(e) pregunta 5,
(f) pregunta 6,
(g) pregunta 7,
(h) pregunta 8
(continuación).



(g) P7. ¿Cómo podríamos saber si una bebida contiene polifenoles?



(h) P8. ¿Qué significa determinación semicuantitativa? ¿Qué procedimiento(s) sería necesario para que una determinación sea

Como puede observarse, en todas las preguntas se establecen cuatro niveles, excepto en la pregunta 2 (figura 3b), donde únicamente se aprecian tres niveles de respuestas. En todos los casos, se establece un nivel 0, cuando el alumno responde que no lo sabe (NS) o simplemente no contesta (NC). A este respecto, destaca el elevado porcentaje de alumnos que se encuentran inicialmente en este nivel (77-100%) para las preguntas 2, 3, 6, 7 y 8, lo que puede deberse a que se trata de preguntas más específicas. En el caso de preguntas más generales, como las preguntas 1, 4 y 5, el porcentaje de alumnos que no responden en el cuestionario inicial a estas cuestiones es inferior (8-31%). Este porcentaje se reduce considerablemente en el cuestionario final, aunque sorprende que, una vez completadas todas las sesiones de prácticas, siga habiendo estudiantes que



dejen algunas preguntas sin responder. En algunos casos, sospecho que puede deberse al desinterés en la realización de los cuestionarios al no tenerse en cuenta para la calificación de la asignatura.

En lo que respecta al nivel de aprendizaje adquirido por los alumnos, cabe mencionar los siguientes aspectos:

- De manera general, se observa una evolución de los estudiantes hacia niveles de aprendizaje superiores.
- En el caso de las preguntas 4 y 5, correspondientes a los bloques de análisis cualitativo-cuantitativo y separaciones, respectivamente, el número de estudiantes en niveles superiores al final del CIMA disminuye con respecto al inicio. En su lugar, aumenta el número de alumnos que responden mezclando conceptos que nada tienen que ver, lo que puede deberse a que tienen una mayor cantidad de información que al principio pero que no terminan de interiorizar.
- Asimilan bien los conceptos más generales (análisis cualitativo, análisis cuantitativo, identificaciones o separaciones), pero muy pocos llegan a elaborar respuestas completas, haciendo uso de conceptos más específicos (marcha analítica, columna de intercambio iónico o extracción sólido-líquido) y justificando o razonando en cada caso.

Evaluación del CIMA

En general, estoy satisfecha con la aplicación del CIMA en lo referente a su organización, desarrollo de las prácticas y gestión del tiempo. A lo largo de las sesiones, las sensaciones han sido buenas, aunque no se hayan traducido al cien por cien en los cuestionarios finales.

Aspectos a mantener o cambiar en un futuro CIMA

Algunos de los aspectos a mantener en un futuro CIMA son:

- La realización de los cuestionarios de manera presencial para conseguir una participación total de los alumnos. Este es un aspecto que he modificado con respecto al CIMA anterior, donde realicé los cuestionarios *online* y solo unos pocos de los estudiantes lo cumplieron.
- La inclusión de preguntas idénticas en los cuestionarios inicial-final facilita la elaboración de las escaleras de aprendizaje.
- La puesta en común de las respuestas iniciales y finales ayuda a construir y a adaptar la metodología y las actividades de contraste a las necesidades de los alumnos, así como al establecimiento de conclusiones generales y relaciones entre conceptos.



- Con respecto a los aspectos que cambiaría, se incluyen:
- Transmitirles mayor importancia en la realización de los cuestionarios para evitar el desinterés o la facilidad de dejar preguntas sin responder, por ejemplo, formando parte de la calificación de la asignatura.
 - Hacer las actividades de contraste por grupos de alumnos para que la participación en la puesta en común sea lo más equitativa posible.

Principios Docentes para el futuro

- Como principios docentes presentes y futuros se incluyen:
- *La adaptación de la docencia.* Considero que es fundamental conocer las premisas de las que parte cada grupo de estudiantes de cara a adaptar mejor la metodología y los contenidos en cada caso.
 - *La autonomía de los estudiantes.* Que el peso del aprendizaje lo lleve el alumnado facilita el razonamiento crítico.
 - *El aprendizaje colaborativo.* El trabajo en equipo y la puesta en común de resultados individuales favorece asimilar mejor los contenidos.

Referencias bibliográficas

- De Alba, N. y Porlán, R. (2017). La metodología de enseñanza. En R. Porlán (Coord.), *Enseñanza universitaria. Cómo mejorarla* (pp. 37-54). Morata.
- Delord, G.; Hamed, S.; Porlán, R. y De Alba, N. (2020). Los Ciclos de Mejora en el Aula. En N. De Alba y R. Porlán (Coords.), *Docentes universitarios. Una formación centrada en la práctica* (pp. 128-162). Morata.
- García Díaz, E., Navarro, E. y Porlán, R. (2017). Los fines y los contenidos de enseñanza. En R. Porlán (Coord.), *Enseñanza universitaria. Cómo mejorarla* (pp. 55-72). Morata.
- Rivero, A. y Porlán, R. (2017). La evaluación en la enseñanza universitaria. En R. Porlán (Coord.), *Enseñanza universitaria. Cómo mejorarla* (pp. 73-91). Morata.
- Román-Hidalgo, C. (2022). Aprendiendo en el laboratorio: Aplicación de un ciclo de mejora en las prácticas de Química Analítica I del Grado en Química. En R. Porlán, E. Navarro y A. F. Villarejo (Coords.), *Ciclos de mejora en el aula. Año 2021. Experiencias de innovación docente de la Universidad de Sevilla* (pp. 2863-2880). Editorial de la Universidad de Sevilla. <http://dx.doi.org/10.12795/9788447222865.164>



