

# **Aprendiendo en el laboratorio. Aplicación de un ciclo de mejora en las prácticas de Química Analítica I del Grado en Química.**

## **Learning in the laboratory. Application of an improvement cycle in the Analytical Chemistry lab practices of the Chemistry Degree.**

### QUÍMICA

Cristina Román Hidalgo

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

Universidad de Sevilla. Facultad de Química. Departamento de Química Analítica.

[croman2@us.es](mailto:croman2@us.es)

**Resumen.** En este trabajo se incluyen los resultados de la aplicación de un ciclo de mejora en las prácticas de laboratorio de la asignatura *Química Analítica I* impartida en el segundo curso del Grado en Química. El ciclo de mejora se ha aplicado durante dos sesiones de 4 horas cada una en torno a una temática principal, *la calidad del agua*, mediante el desarrollo de dos experiencias prácticas enlazadas como son la *determinación de la dureza y el contenido en cloruros de una muestra de agua*. Se ha aplicado un modelo metodológico centrado en el alumno, quien tiene un papel activo y protagonista en el proceso de aprendizaje, siguiendo un mapa de contenidos y una secuencia de actividades elaboradas acorde a los objetivos de las prácticas. Finalmente, se ha llevado a cabo el análisis y evaluación de la aplicación del ciclo de mejora con el fin de sacar conclusiones e información de utilidad para redefinir y perfeccionar nuestra práctica docente.

**Abstract.** This work includes the results of the application of a cycle of improvement in the laboratory practices of the subject Analytical Chemistry I taught in the second year of the Degree in Chemistry. The improvement cycle has been applied during two sessions of 4 hours each around a main theme, water quality, through the development of two linked practical experiences such as the determination of hardness and chloride content in a water sample. A methodological model focused on the student has been applied, who has an active and leading role in the learning process, following a map of contents and a sequence of activities elaborated according to the objectives of the practical experiences. Finally, the analysis and evaluation of the application of the improvement cycle have been carried out in order to draw conclusions and useful information to redefine and improve our teaching practice.

**Palabras clave.** Química Analítica I, Grado en Química, docencia universitaria, experimentación docente universitaria, aprendizaje.

**Keywords.** Analytical Chemistry, Chemistry Degree, university teaching, university teaching experimentation, learning.

### **Descripción del contexto**

La asignatura de *Química Analítica I* es una asignatura de carácter obligatorio y anual que se imparte en el segundo curso del Grado en Química. La asignatura consta de 57 h de clases teóricas, 16 h de seminarios, 32 h de prácticas de laboratorio y 8 h de prácticas de informática. En este caso, el CIMA (Delord y otros, 2020) se ha implementado en las prácticas de laboratorio

de la asignatura, correspondientes al segundo cuatrimestre, que se realizan a lo largo de una semana en sesiones de 4 horas diarias. El grupo de prácticas estaba constituido por 2 profesores y 19 alumnos. Los alumnos realizan cada día una práctica de laboratorio o experimento diferente, pero no trabajan simultáneamente en la misma práctica debido a limitaciones de equipos/material de laboratorio. Por tanto, lo que se hace es dividir a los alumnos en grupos de 4-5, de manera que cada grupo está realizando una práctica distinta cada día y va rotando de puesto al día siguiente para realizar la siguiente práctica. De las 5 prácticas que se realizan, el CIMA se centra en dos de ellas, puesto que considero que se pueden relacionar bastante bien y dará mayor continuidad al CIMA. Estas dos prácticas son, por un lado, *la determinación de la dureza de una muestra de agua* (sesión de 4 horas) y, por otro, *la determinación de cloruros en agua mediante el método de Volhard* (sesión de 4 horas), completando así las 8 horas de CIMA (Bobadilla, 2019).

## **Diseño previo del CIMA**

### *Mapa de contenidos y problemas claves*

En la Figura 1 se muestra el mapa de contenidos y problemas (García Díaz, 2017) elaborado para la aplicación del CIMA. En él se representan todos los contenidos (incluyendo su tipología) que se trabajan durante las sesiones de laboratorio para abordar el tema principal, la calidad del agua, a través de dos problemas principales, correspondientes cada uno de ellos a una práctica de laboratorio y sesión diferente. Adicionalmente, se incluyen otras dos subpreguntas que se trabajan de manera conjunta durante el desarrollo de cada sesión.

### *Modelo metodológico posible*

El modelo metodológico posible, representado en la Figura 2, está basado en experiencias innovadoras en la enseñanza universitaria en las que se orienta la docencia hacia un modelo metodológico alternativo al tradicional y transmisivo, más activo, constructivista e investigativo, centrado en el alumno y en su aprendizaje, otorgándole así un papel protagonista (De Alba, 2017). Se aplica el mismo modelo metodológico para abordar las dos preguntas principales, cada una de ellas mediante la realización de una práctica de laboratorio y durante una sesión de 4 horas. Previamente a la primera sesión, los alumnos realizan un cuestionario inicial (C) sobre la temática a abordar durante las prácticas, a fin de conocer sus ideas iniciales (IA). Posteriormente, durante la sesión de prácticas, cada alumno realiza, de manera totalmente independiente y siguiendo el protocolo descrito, el análisis (P) de una muestra problema (distinta para cada alumno) donde tendrán que determinar, en primer lugar, la dureza del agua (sesión 1) y, en segundo lugar, el contenido en cloruros de la muestra (sesión 2). Una vez realizado el análisis, proporcionan a los profesores el resultado final obtenido, quienes, en base al error cometido por el alumno (por comparación con un valor de referencia) califican la práctica realizada. Por último, se incorporan dos actividades de contraste (AC) al final de cada sesión con el objetivo de reflexionar sobre sus ideas iniciales una vez llevada a cabo la experiencia, de manera que puedan reelaborarlas y establecer unas nuevas (IF) (Parejón, 2017).

### *Secuencia de actividades programadas*

Con el objetivo de seguir el modelo metodológico indicado, se ha diseñado una secuencia de actividades (Finkel, 2008) para cada una de las sesiones de prácticas de 4 horas. En la Tabla 1 se detallan en orden cronológico cada una de las actividades programadas, incluyendo una

descripción de la actividad, la fase del modelo al que pertenece, el tiempo programado y los recursos necesarios.

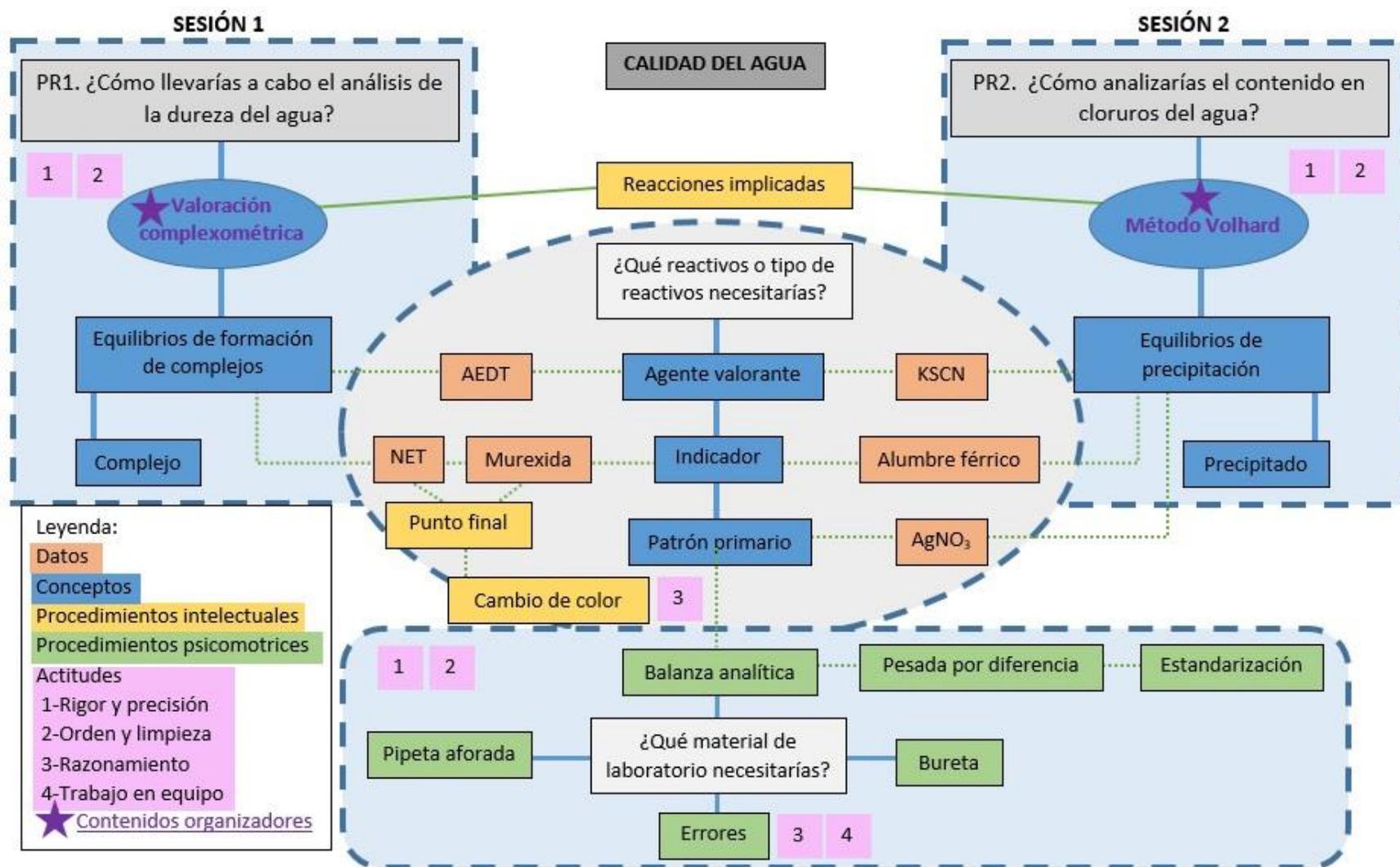
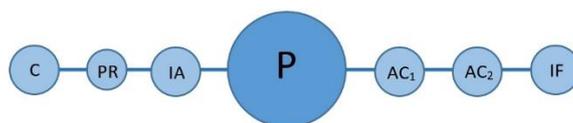


Figura 1. Mapa de contenidos y problemas claves.



C: cuestionario inicial/final; PR: planteamiento del problema; IA: ideas iniciales de los alumnos; P: práctica de laboratorio; AC1: actividad de contraste 1; AC2: actividad de contraste 2; IF: ideas finales de los alumnos.

Figura 2. Modelo metodológico posible.

Tabla 1. Secuencia de actividades.

| <b>PROBLEMA 1:<br/>¿CÓMO LLEVARÍAS A CABO EL ANÁLISIS DE LA DUREZA DEL AGUA? (SESIÓN 1)</b>  |                        |  |                     |
|--|------------------------|--|---------------------|
| <b>NºAct</b>   | <b>Fase del modelo</b> | <b>Descripción</b>   | <b>Tiempo (min)</b> |
| <i>1</i>   | <i>C</i>               | <i>Cuestionario inicial/fina</i>                                 | <i>20 (previo)</i>  |
| <p>Se les enviará a los alumnos a través de google form un cuestionario inicial con preguntas relacionadas sobre la temática a abordar durante las sesiones de prácticas. Los alumnos, de manera voluntaria y anónima, deberán responder a dicho cuestionario empleando sus propias palabras y con sinceridad. El cuestionario se realizará previamente a la primera sesión, por lo que no se contabiliza dentro de las 8 horas de CIMA.</p> <p><i>Recursos: Google form.</i><br/> <a href="https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdygRzqWTMr2mrG9fxG2gObWoAB48CJLabOXGNqDvZv3h6e6w/viewform?vc=0&amp;c=0&amp;w=1&amp;flr=0">https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdygRzqWTMr2mrG9fxG2gObWoAB48CJLabOXGNqDvZv3h6e6w/viewform?vc=0&amp;c=0&amp;w=1&amp;flr=0</a></p>   |                        |  |                     |
| <i>2</i>   | <i>PR</i>              | <i>¿Cómo llevarías a cabo el análisis de la dureza del agua?</i> | <i>10</i>           |
| <p>Se les plantea la pregunta o problema que van a abordar durante la sesión. Los alumnos disponen en la plataforma de enseñanza virtual de un boletín de prácticas donde viene detallado paso por paso todo el procedimiento experimental para la realización de la práctica, incluyendo el material y los reactivos necesarios, así como la gestión de los residuos generados. Deben traer el guion de prácticas a la sesión y los primeros minutos se destinan a la lectura individual de la práctica. Es importante indicar que con esta pregunta se trabajan además las dos subpreguntas del mapa de contenidos, que se corresponden con las preguntas 4 y 5 del cuestionario.</p> <p><i>Recursos: plataforma de enseñanza virtual y guion de prácticas.</i></p>  |                        |  |                     |
| <i>3</i>   | <i>IA</i>              | <i>Ideas de los alumnos</i>                                      | <i>15</i>           |
| <p>Durante esta actividad, se analizan las respuestas que han dado los alumnos a las preguntas del cuestionario relacionadas con este problema 1 (estas son las preguntas 2, 4 y 5). En primer lugar, se comentan las respuestas proporcionadas de manera general, indicando también la proporción de cada una de ellas. En segundo lugar, se debatirá sobre ellas. Para dicho debate, trabajarán en grupos de 5 (siguiendo la distribución de alumnos por práctica) y se le pedirá a cada grupo que comenten las respuestas al cuestionario (si consideran que las respuestas son acertadas o no, si son completas o no, si creen que deben realizar la práctica para poder contestarla, etc., y, sobre todo, justificando el por qué en todo momento).</p> <p><i>Recursos: respuestas al cuestionario inicial.</i></p> |                        |  |                     |
| <i>4</i>   | <i>P</i>               | <i>Preparación de reactivos y disoluciones</i>                   | <i>25</i>           |
| <p>Los alumnos deben preparar una disolución de AEDT para emplearla como agente valorante. Esto implica realizar los cálculos necesarios para saber la cantidad de reactivo que tienen que pesar y realizar la pesada por diferencia, al tratarse de un patrón primario.</p> <p><i>Recursos: bata y guantes de seguridad, guion de prácticas, calculadora, cuaderno de laboratorio, material de laboratorio, reactivos y disolventes.</i></p>  |                        |  |                     |
| <i>5</i>   | <i>P</i>               | <i>Determinación de la dureza total</i>                          | <i>45</i>           |
| <p>En la práctica hay 6 muestras problema etiquetadas de la A a la F. Como se han distribuido en grupos de 5 alumnos por práctica, cada uno de ellos debe seleccionar una muestra problema que deberán analizar y determinar. Se les indica que deben analizar una muestra diferente cada uno de ellos para</p>  |                        |  |                     |

no repetir. Cada una de las muestras problema tiene una dureza diferente (desconocida por los alumnos, pero conocida por los profesores), cuyo valor debe ser aportado una vez finalizada la práctica por parte del alumno. Deben analizar, en primer lugar, la dureza total de la muestra, siguiendo el procedimiento descrito en el guion y haciendo uso de la disolución preparada en la actividad 4, empleando el indicador adecuado para la detección del punto final, y plantear los equilibrios de formación de complejos implicados. Pueden hacer tantas determinaciones como crean necesarias.

*Recursos: bata y guantes de seguridad, guion de prácticas, calculadora, cuaderno de laboratorio, material de laboratorio, reactivos y disolventes.*

|   |   |                         |    |
|---|---|-------------------------|----|
| 6 | P | Determinación de calcio | 45 |
|---|---|-------------------------|----|

Los alumnos cogerán el mismo volumen de muestra que en la actividad 5 pero en este caso, previamente, tendrán que precipitar el magnesio (Mg). Una vez formado el precipitado, se valorará de nuevo con la disolución de AEDT empleando el indicador adecuado (distinto al de la actividad 5).

*Recursos: bata y guantes de seguridad, guion de prácticas, calculadora, cuaderno de laboratorio, material de laboratorio, reactivos y disolventes.*

|   |   |                      |    |
|---|---|----------------------|----|
| 7 | P | Cálculos y resultado | 40 |
|---|---|----------------------|----|

Los alumnos deben realizar los cálculos necesarios para determinar el contenido de su muestra problema. Como se dijo antes, pueden hacer tantas determinaciones como consideren, pero a los profesores únicamente nos deben dar un valor. Para el cálculo del resultado final es imprescindible que conozcan los equilibrios implicados y las reacciones que tienen lugar. El contenido de la muestra que indique cada alumno será comparado con el valor real de la muestra problema para calcular el porcentaje de error cometido por cada uno de ellos, aunque el alumno no será conocedor del error que ha cometido en ese momento. Ese error se utilizará para evaluar parte de las prácticas de laboratorio de la siguiente manera: %error < 0.5% → +1 punto; 0.5% < %error < 1% → +0.75 puntos; 1% < %error < 1.5% → +0.5 puntos; 1.5% < %error < 2.5% → +0.25 puntos; %error > 2.5% → +0 puntos.

*Recursos: calculadora, hoja de cálculo Excel para determinar los errores correspondientes.*

|   |     |                                 |    |
|---|-----|---------------------------------|----|
| 8 | AC1 | Identificación de lotes de agua | 20 |
|---|-----|---------------------------------|----|

Una vez que todos los alumnos han hecho la práctica, les planteo la siguiente actividad en grupo. Les entrego una tabla donde se recogen datos de diferentes muestras de agua numeradas a las que se les ha analizado la dureza mediante el mismo procedimiento que ellos mismos han realizado. Los datos proporcionados para cada muestra son aleatorios (volumen de AEDT consumido en la valoración, error con respecto a un valor teórico, contenido de calcio o de magnesio, etc.). Se les dice que se trata de muestras de agua de 3 lotes diferentes y que tienen que identificar, a partir de los datos que tienen, las muestras pertenecientes a cada lote. Se trata de que, en base a su experiencia previa al analizar su muestra, sean capaces de valorar los datos que se les proporciona en la tabla para sacar conclusiones que les permitan identificar los lotes de agua.

*Recursos: tabla de datos y calculadora.*

|   |     |                           |    |
|---|-----|---------------------------|----|
| 9 | AC2 | Comparación de resultados | 20 |
|---|-----|---------------------------|----|

Se les plantea otra actividad de contraste. Durante la práctica, el grupo de 5 alumnos analiza una muestra diferente, pero, el resto de días, los grupos van rotando de práctica, de manera que habrá otros 5 alumnos que tendrán que analizar las muestras A-F. Lo que se hace, por tanto, es proporcionarle a cada alumno, el valor aportado por el resto de compañeros que hayan analizado esa misma muestra. El objetivo es que analicen y comparen su resultado con el de sus compañeros y valoren si existen diferencias significativas o no, indicando las posibles causas de las mismas, fomentando el trabajo en equipo y el razonamiento crítico. Pueden hacerlo tanto individual como de forma colectiva.

*Recursos: calculadora y cuaderno de laboratorio.*

|    |    |               |    |
|----|----|---------------|----|
| 10 | IF | Ideas finales | 20 |
|----|----|---------------|----|

Por último, se les pide a los mismos grupos de alumnos que trabajaron de forma conjunta las actividades de contraste, que analicen de nuevo las respuestas que debatimos al inicio de la sesión y que determinen, en función de su propia experiencia experimental, así como de las conclusiones derivadas de las dos actividades de contraste, qué factores consideran más importante a la hora de determinar la dureza del agua (como por ejemplo, la importancia del pipeteo y/o de la pesada por diferencia en los errores obtenidos, las reacciones y los equilibrios implicados en cada una de las

etapas para poder llegar al resultado final, etc.). Una vez hecho esto, se les pide que reelaboren sus respuestas a las preguntas que abordan el problema 1 y replanteen nuevas respuestas.

*Recursos: cuaderno de laboratorio.*

### PROBLEMA 2:

#### ¿CÓMO ANALIZARÍAS EL CONTENIDO EN CLORUROS DEL AGUA? (SESIÓN 2)

| NºAct | Fase del modelo | Descripción  | Tiempo (min) |
|-------|-----------------|--|--------------|
| 11    | PR              | ¿Cómo analizarías el contenido en cloruros del agua? | 10           |

Se les plantea la pregunta o problema que van a abordar durante esta sesión. Al igual que en la sesión anterior, los alumnos disponen del boletín de prácticas con todo el procedimiento detallado. Deben dedicar los primeros minutos a la lectura del procedimiento experimental, así como a la identificación de los reactivos y material de laboratorio que necesitarán. Indicar que, en este caso, además del problema principal (pregunta 3 del cuestionario), también se abordan las otras dos subpreguntas del mapa de contenidos (preguntas 4 y 5 del cuestionario).

*Recursos: plataforma de enseñanza virtual y guion de prácticas.*

|    |    |                      |    |
|----|----|----------------------|----|
| 12 | IA | Ideas de los alumnos | 15 |
|----|----|----------------------|----|

Durante esta actividad, se analizan las respuestas que han dado los alumnos a las preguntas del cuestionario relacionadas con este problema 2 (preguntas 3, 4 y 5). Al igual que en la sesión anterior, en primer lugar, les comento cuáles han sido las respuestas y la proporción de cada una de ellas y, en segundo lugar, se debate sobre esas respuestas. Trabajarán también en los mismos grupos de 5 analizando y valorando las respuestas al cuestionario y justificando su opinión.

*Recursos: respuestas al cuestionario inicial.*

|    |   |                 |    |
|----|---|-----------------|----|
| 13 | P | Estandarización | 45 |
|----|---|-----------------|----|

Los alumnos deben estandarizar, en primer lugar, la disolución de KSCN que emplearán como agente valorante. Cada alumno realizará una valoración de forma individual y, para los cálculos posteriores, utilizarán el valor medio obtenido entre todos.

*Recursos: bata y guantes de seguridad, guion de prácticas, calculadora, cuaderno de laboratorio, material de laboratorio, reactivos y disolventes.*

|    |   |  |    |
|----|---|--|----|
| 14 | P | Precipitación y valoración por retroceso | 75 |
|----|---|--|----|

Al igual que en la sesión anterior, disponen de 6 muestras problema etiquetadas de la A a la F con un contenido de cloruros diferente, de manera que cada uno debe elegir una muestra distinta y analizarla. En primer lugar, deben precipitar los cloruros de la muestra con una sal de plata y valorar por retroceso el exceso de plata con la disolución de KSCN estandarizada en la actividad 13. Pueden hacer tantas determinaciones como crean necesarias. Deben tener claro la reacción de precipitación que tiene lugar, así como la reacción de valoración y la reacción indicadora, identificando el papel de cada uno de los reactivos empleados.

*Recursos: bata y guantes de seguridad, guion de prácticas, calculadora, cuaderno de laboratorio, material de laboratorio, reactivos y disolventes.*

|    |   |                      |    |
|----|---|----------------------|----|
| 15 | P | Cálculos y resultado | 45 |
|----|---|----------------------|----|

Los alumnos deben realizar los cálculos necesarios para determinar el contenido de su muestra problema. Es imprescindible que tengan claro todos los equilibrios implicados. Se calculará el error cometido por cada alumno y se evaluará siguiendo el mismo criterio indicado en la actividad 7.

*Recursos: calculadora, hoja de cálculo Excel para determinar los errores correspondientes.*

|    |     |                     |    |
|----|-----|---------------------|----|
| 16 | AC1 | Análisis de errores | 20 |
|----|-----|---------------------|----|

Una vez realizada la práctica, les entrego una hoja donde se recogen, para cada muestra (A-F), los errores cometidos por distintos alumnos (algunos positivos, otros negativos, algunos del orden del 50%, etc.) en el análisis de cloruros. Les indico que, en base a su experiencia, indiquen posibles causas para cada uno de esos errores, a qué creen ellos que puede deberse. Una vez que han reflexionado y discutido en grupo sobre las posibles causas, las comentamos entre todos para sacar conclusiones generales.

*Recursos: tabla de datos y calculadora.*

|    |         |                                     |    |
|----|---------|-------------------------------------|----|
| 17 | AC2, IF | Corrección del cuestionario inicial | 30 |
|----|---------|-------------------------------------|----|

Una vez terminada la sesión, contestarán de nuevo el cuestionario inicial/final y se les planteará la última actividad de contraste, que en este caso deberán hacer de manera individual. Se les repartirá

de forma aleatoria las respuestas proporcionadas por algunos de sus compañeros al cuestionario inicial. Se les pedirá que corrijan ese cuestionario según su criterio y teniendo en cuenta todos los conceptos que se han abordado en las prácticas. Dado que son cuestionarios anónimos, cabe la posibilidad de que tengan que corregirse a sí mismos, en cuyo caso sería interesante ver lo que han podido evolucionar. Una vez que todos los alumnos han corregido los cuestionarios, comentaremos entre todos algunos de ellos para extraer conclusiones generales y reelaborar las ideas que inicialmente tenían, estableciendo así sus ideas finales.

*Recursos: cuestionarios iniciales.*

## *Cuestionario inicial-final*

Antes de la primera sesión, les envió por correo a todos los alumnos un enlace (Porlán, 2020) con el cuestionario inicial/final que he preparado. Les explico que estoy participando en un curso destinado a la mejora docente y que una de las tareas que tenemos que realizar los profesores es la entrega de un cuestionario inicial, dejándoles claro que no se trata de un examen, que será anónimo y que no repercutirá en su nota final. El contenido del cuestionario es el siguiente: *Una empresa dedicada al control de calidad de aguas embotelladas se ve obligada a cerrar gran parte de sus laboratorios debido a un elevado número de contagios por COVID19 entre sus empleados. Esto supone un importante parón, por lo que, a fin de evitar mucho retraso, la directora de la empresa contacta con vosotros para que llevéis a cabo el análisis de algunas de las muestras de agua. Entre los diferentes parámetros que analizan para evaluar la calidad del agua embotellada, os piden que llevéis a cabo el análisis de la dureza y la cantidad de cloruros.1. Añade un pseudónimo (y recuérdalo para próximas ocasiones).2. ¿Cómo llevarías a cabo el análisis de la dureza del agua? 3. ¿Cómo analizarías el contenido en cloruros del agua? 4. ¿Qué reactivos o tipo de reactivos necesitarías? Indica al menos 3 y para qué utilizarías cada uno de ellos. 5. ¿Qué material de laboratorio necesitarías? Indica al menos 5 y para qué utilizarías cada uno de ellos.*

## **Aplicación del CIMA**

### *Relato resumido de las sesiones*

*Sesión 1.* Las prácticas son de lunes a viernes de 16 a 20 horas. La sesión 1 coincide con el primer día de prácticas, por lo que lo primero que hago es pasar lista. Una vez controlada la asistencia, entre las dos profesoras vamos distribuyendo a los alumnos en las diferentes zonas del laboratorio, se les explica cómo se van a desarrollar las sesiones, se les recuerda las normas de seguridad en el laboratorio, así como las normas aplicadas por la COVID19, y se les indica la fecha límite para entregar el informe de prácticas. A continuación, vamos explicando a cada grupo de alumnos la práctica que les corresponde hacer ese día. En mi caso, comienzo con el grupo correspondiente a la determinación de la dureza del agua. En primer lugar, comentamos las respuestas de los alumnos al cuestionario inicial. Durante esta sesión, se trabajará el problema principal 1 (*valoración complexométrica*) del mapa de contenidos y se abordarán las preguntas 2, 4 y 5 del cuestionario (estas dos últimas son preguntas comunes para abordar también el problema principal 2). Les leo algunas de las respuestas que han dado, indicándoles las respuestas mayoritarias y minoritarias, así como algunas respuestas aisladas en las que confunden algunos conceptos que considero fundamentales, por lo que creo que es importante comentarlas. Observo que algunos alumnos no participan (posiblemente los que no han realizado el cuestionario inicial), mientras que otros sí que lo hacen y aportan información valiosa. Una vez que hemos tratado las ideas iniciales de los alumnos, comienzan el desarrollo experimental de la práctica. Cada alumno, de manera individual, elige una muestra problema

diferente (A-F) y la analiza. Durante el desarrollo experimental, surgen varias dudas, algunas de ellas procedimentales (*pesada por diferencia*), que vamos resolviendo de manera conjunta. Les indico que disponen de una muestra de ensayo, con una dureza conocida, con el objetivo de que la empleen antes de su muestra para que se familiaricen con los cambios de color que deben observar, así como para determinar el error que están cometiendo en la determinación. Aprovecho los diferentes errores proporcionados por los alumnos al analizar la muestra de ensayo para establecer posibles causas y buscar soluciones. En la determinación del calcio, tienen bastantes problemas para observar el viraje del indicador, por lo que la mayoría realiza más de 3 determinaciones para estar seguros del resultado final. A la hora de realizar los cálculos, presentan dificultades, pese a que son capaces de establecer los equilibrios implicados casi a la primera, por lo que invertimos bastante tiempo en ello. Al proporcionar el resultado de su muestra problema, observamos que todos los alumnos dan errores bastante importantes, consecuencia, como nos dimos cuenta finalmente, de unos valores de referencia erróneos. Este hecho supone un importante retraso, por lo que la siguiente actividad 8 (AC1) no me da tiempo a realizarla y decido trabajar directamente la actividad 9 (AC2) pero sobre la marcha, de manera que en lugar de trabajar y debatir en grupos tal y como estaba planeado, lo voy haciendo de manera individual (conforme van terminando el desarrollo experimental). Por último, realizamos la actividad 10, aunque, por limitaciones de tiempo, no es posible que los alumnos replanteen por escrito nuevas respuestas a las preguntas del cuestionario, aunque sí trabajo con algunos de ellos algunas de las respuestas que tratamos al principio, a fin de que sean capaces (tras su experiencia) de establecer respuestas mucho más elaboradas, detalladas y precisas. La sesión, inicialmente planteada para 4 horas, se alarga media hora más.

*Sesión 2.* Durante la segunda sesión, se aborda el problema principal 2 del mapa de contenidos, a través de las preguntas 3, 4 y 5 del cuestionario. En primer lugar, al igual que en la sesión anterior, comentamos las respuestas de los alumnos a estas cuestiones, explicando entre todos, el fundamento de cada uno de los métodos propuestos, así como las diferencias entre ellos. A continuación, comienzan el desarrollo de la práctica experimental. En este caso, también disponen de una muestra de ensayo y, teniendo en cuenta, la experiencia del día anterior, todos deciden analizar primero la muestra de prueba. Presentan muchas dificultades en determinar el viraje del indicador en el punto final, por lo que invierten mucho tiempo antes de pasar a la muestra problema, al repetir su determinación varias veces. Asimismo, tienen bastantes problemas en los cálculos; les cuesta ver que lo que valoran es la plata en exceso y cómo relacionar ésta con la cantidad de cloruros, así como en la expresión del resultado final como cloruro sódico (NaCl). Cuando empiezan con la muestra problema, apenas les queda una hora de clase, van muy justos. Repiten varias veces la muestra problema y observo que tienen bastante interés en hacerlo repetidas veces para asegurarse del resultado final y obtener un error aceptable que les puntúe positivamente. Al ver que queda poco tiempo, aprovecho alguno de los problemas que van surgiendo durante el desarrollo experimental para trabajar lo que se planteaba con la actividad 16. Asimismo, les pregunto, a medida que avanzan en la práctica, cuáles son los factores que consideran más importantes para obtener un resultado final con un error prácticamente nulo, con idea de que relacionen las etapas del procedimiento analítico con el error final cometido. Por último, la actividad 17 no se ha podido llevar a cabo, terminan media hora más tarde de la hora establecida para la sesión y se han retrasado muchísimo, quizás por el interés de obtener errores pequeños, lo que les ha motivado a repetir muchas veces los análisis y a ir con un ritmo excesivamente lento.

### *Evaluación del aprendizaje de los estudiantes*

A fin de poder evaluar el aprendizaje de los estudiantes una vez implementado el CIMA, los alumnos responden al mismo cuestionario inicial, de manera que las respuestas obtenidas antes

y después del CIMA se emplean para elaborar lo que se conoce como *escaleras de aprendizaje* (Porlán, 2017), representadas en la Figura 3. Las escaleras incluyen, para cada pregunta, los distintos niveles de respuestas de los estudiantes y el número y porcentaje de alumnos que generan esa respuesta. Adicionalmente, se indican los obstáculos detectados para pasar de un nivel de aprendizaje al siguiente (Iglesias, 2018). Atendiendo a la Figura 3, se puede establecer que la mayoría de estudiantes avanza, de manera general después de la aplicación del CIMA, hacia un nivel de aprendizaje más alto (3-4) que el que tenían inicialmente. Asimismo, he observado una evolución en la propia construcción de la respuesta, describiendo de manera mucho más detallada el proceso de análisis a seguir para cada tipo de determinación, incluyendo incluso en algunos casos las reacciones implicadas, así como un mayor razonamiento a la hora de relacionar cada reactivo o material necesario para cada momento de la experiencia de laboratorio. Por otra parte, en la Figura 4 se recoge un cuadro evolutivo individual para 5 de los estudiantes a modo de ejemplo (Sánchez, 2019). En él se indican las puntuaciones obtenidas por cada alumno para cada pregunta en función del nivel inicial y final en el que se encuentran, teniendo en cuenta además el obstáculo correspondiente que han logrado superar. Así, los obstáculos pequeños se puntúan con 0.5 puntos, mientras que cuando la evolución implica superar un obstáculo mayor, la puntuación correspondiente es de 1 punto. Asimismo, se incluye el porcentaje de mejora en función de su nivel inicial y la puntuación final global obtenida. Atendiendo a este criterio puede observarse, como ocurre con el estudiante 4, que hay casos en los que el porcentaje de mejora es nulo, lo cual no implica que el alumno no haya aprendido nada, sino que parte de un nivel de aprendizaje bastante más elevado con respecto al resto.

## **Evaluación del CIMA**

### *Cuestiones a mantener y cambios a introducir para un futuro CIMA más amplio*

La inclusión del cuestionario inicial para explorar las ideas iniciales de los alumnos ha sido todo un acierto. El análisis grupal al comienzo de cada sesión de las respuestas al cuestionario ha sido clave para resolver las dudas más comunes, establecer los conceptos más importantes y relacionarnos con el desarrollo experimental de la práctica. Gracias a las preguntas del cuestionario (Bain, 2007), la mayoría de los alumnos ha prestado especial atención en aspectos de las prácticas que, en otras situaciones, habrían pasado inadvertidos y que sin embargo son de vital importancia. En su lugar, se han mostrado interesados en saber y entender el fundamento que hay detrás de cada etapa, mostrándose participativos e implicados en su mayoría. Asimismo, he observado una especial preocupación por parte de los alumnos por realizar un trabajo riguroso, por realizar cada una de las determinaciones con precisión de cara a proporcionar errores mínimos en sus análisis. Por el contrario, la gestión y organización de los tiempos ha sido sin duda lo que peor ha funcionado. A fin de mejorar estos aspectos, exploraría la posibilidad de realizar tanto el debate de las ideas iniciales, como las actividades de contraste en sesiones diferentes a la de laboratorio, por ejemplo, incorporándolas como actividades de seminarios. Por otra parte, teniendo en cuenta que los cálculos siguen siendo un importante obstáculo, trataría de incorporar preguntas en el cuestionario que impliquen la realización de cálculos o la relación de datos experimentales, a fin de evaluar realmente las dificultades principales que tienen los alumnos y poder trabajarlas posteriormente de forma más concreta.

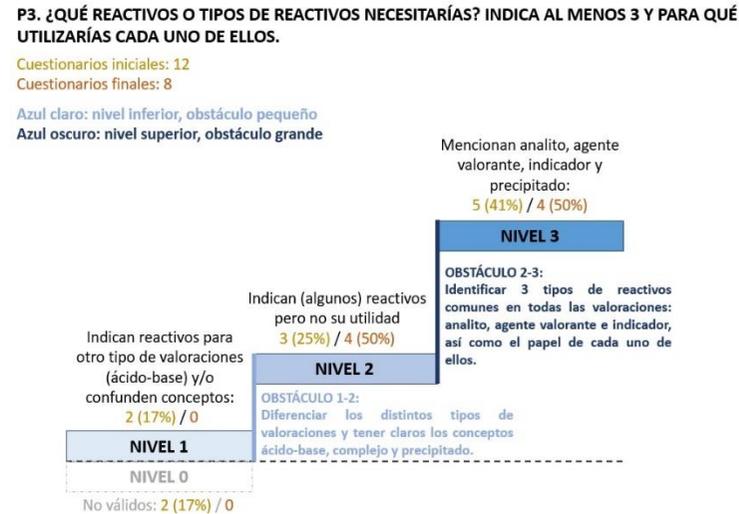
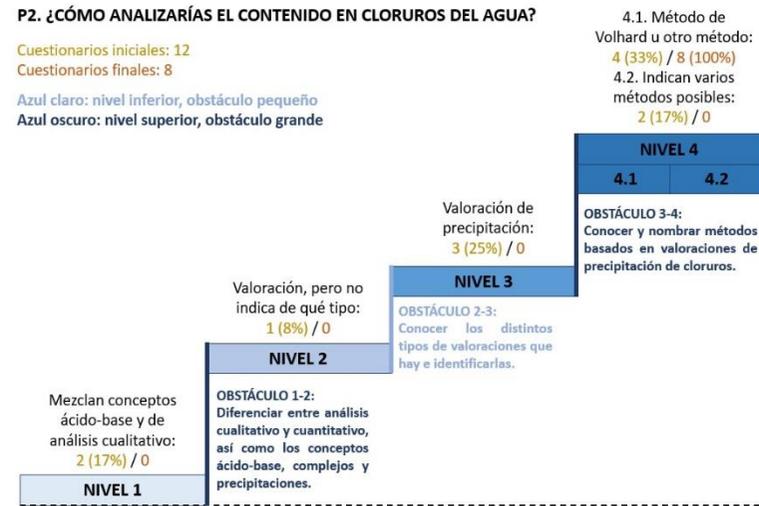
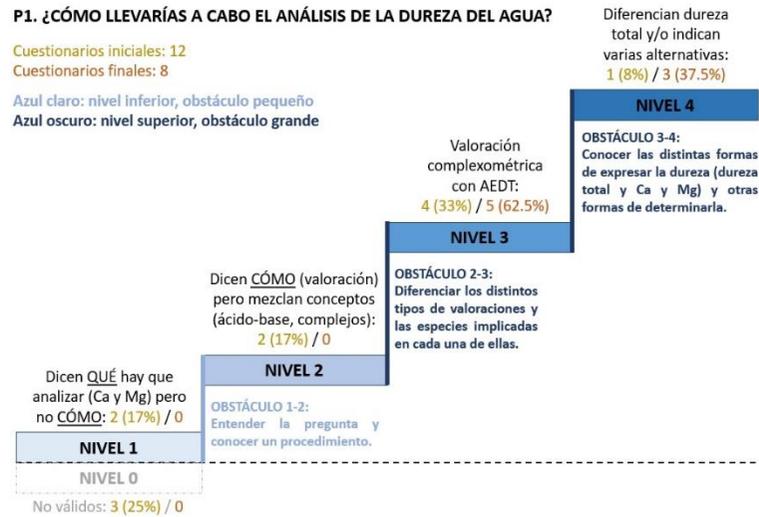


Figura 3. Escaleras de aprendizaje para cada pregunta del cuestionario.

Preguntas iniciales / Preguntas finales

Azul claro: puntuación inferior, mejora pequeña

Azul oscuro: puntuación superior, mejora grande

| Estudiante | Preguntas |    |      |    |      |    |    |    | Puntuación   | Mejora (%) |
|------------|-----------|----|------|----|------|----|----|----|--------------|------------|
|            | 1I        | 1F | 2I   | 2F | 3I   | 3F | 4I | 4F |              |            |
| 1          | 1         | 4  | 1    | 4  | 1    | 2  | 2  | 2  | Inicial: 2.0 | 52%        |
|            | +2.5      |    | +2.5 |    | +0.5 |    | 0  |    |              |            |
| 2          | 3         | 3  | 4    | 4  | 1    | 2  | 3  | 3  | Inicial: 6.0 | 5%         |
|            | 0         |    | 0    |    | +0.5 |    | 0  |    |              |            |
| 3          | 0         | 3  | 2    | 4  | 3    | 3  | 3  | 3  | Inicial: 5.0 | 33%        |
|            | +2        |    | +1.5 |    | 0    |    | 0  |    |              |            |
| 4          | 3         | 3  | 4    | 4  | 3    | 3  | 3  | 3  | Inicial: 8.5 | 0%         |
|            | 0         |    | 0    |    | 0    |    | 0  |    |              |            |
| 5          | 3         | 3  | 3    | 4  | 0    | 2  | 0  | 4  | Inicial: 3.5 | 48%        |
|            | 0         |    | +1   |    | +1   |    | +3 |    |              |            |

Figura 4. Cuadro evolutivo de aprendizaje individual.

He podido observar también que inicialmente los alumnos tienen dificultades para diferenciar algunos conceptos básicos, lo que les impide identificar los diferentes tipos de valoraciones que existen. En este sentido, considero que debería incluir en el mapa de contenidos, no sólo los dos tipos de valoraciones que han sido objeto de estudio de este CIMA, sino también el resto. Así, además de tener un esquema claro de los distintos tipos de valoraciones y sus características, se podrían trabajar cada una de ellas mediante relaciones con las demás, de manera que el aprendizaje sea más efectivo y se eviten errores de conceptos. Asimismo, considero que debería incluir alguna actividad adicional con la que reforzar la importancia del uso del material adecuado para asegurar con el menor error posible el resultado obtenido, por ejemplo, mediante la realización del mismo procedimiento de análisis empleando el material apropiado y un material de menor precisión, a fin de comparar el resultado obtenido de las dos formas y de sacar conclusiones al respecto. Por último, teniendo en cuenta el análisis de los cuestionarios, incluiría mejoras en las preguntas planteadas, puesto que en algunos casos no se ha entendido del todo la finalidad de las mismas. Así, con idea de que los alumnos respondan de manera más detallada también al cuestionario inicial, sería interesante pedirles que respondan a las preguntas mediante un esquema indicando cada etapa del procedimiento de análisis, así como los reactivos y material necesarios para cada una de ellas.

### *Aspectos de la experiencia a incorporar a la práctica docente habitual*

De todos los aspectos que se han comentado y que constituyen la base de nuestro modelo metodológico personal, me quedo fundamentalmente con dos de ellos, relacionados con la evaluación: *el análisis de los cuestionarios inicial/final* y *el diario de las sesiones*. La elaboración de las escaleras de aprendizaje es una forma muy práctica de extraer la mayor información posible de los cuestionarios y en base a ella, reelaborar y redefinir nuestra enseñanza para centrarla en los alumnos. En mi opinión, creo que el análisis de los cuestionarios constituye nuestra propia actividad de contraste como docente, ya que nos hace replantearnos nuestro modelo metodológico, contenidos, actividades, etc. (que serían nuestras ideas previas o iniciales), para reelaborarlos y volverlos a poner en práctica, siguiendo nuestro propio ciclo de aprendizaje, en este caso, *aprender a ser docentes*. En este mismo sentido, recoger de forma detallada nuestras observaciones y sensaciones durante cada sesión en el diario del profesor es

otra práctica que ayuda muchísimo para poder después adaptar nuestra docencia a las nuevas necesidades y/o dificultades detectadas.

### *Principios Didácticos argumentados*

Una de las cosas que más destacaría de todo lo aprendido durante la aplicación del CIMA es la necesidad de basar la enseñanza en las ideas de los alumnos para alcanzar un aprendizaje efectivo (Bain, 2007). Considero que es de vital importancia para poder desarrollar nuestro papel docente adaptar la docencia a nuestros estudiantes (García Pérez, 2017), ya que, como hemos podido comprobar el alumnado es muy variado y en muchas ocasiones pasamos por alto cuestiones, bajo nuestro punto de vista obvias (o que suponemos que deben estar claras por su parte), y que por el contrario suponen un obstáculo en su aprendizaje. La importancia de detectar estos obstáculos para poder guiar nuestra enseñanza es fundamental y, por tanto, es algo que tendré muy presente de cara al futuro. Por otra parte, me ha parecido muy útil como docente la elaboración del mapa para recoger de manera general, pero al mismo tiempo detallada (a través de las relaciones entre ellos), todos los contenidos que queremos o pretendemos poner en práctica. Ayuda muchísimo a tener claro lo que queremos que aprendan o que refuercen los alumnos y, sobre todo, a plantear o planificar un esquema (secuencia de actividades) para asegurarnos de que trabajamos esos conceptos. Es clave una organización y una planificación detallada y pormenorizada de cada sesión o de cada tema de la asignatura para no pasar por alto conceptos que, después puedan suponer un obstáculo en el aprendizaje. Posteriormente, es cuestión de ir modificándolo y adaptándolo según nuestra experiencia y según el propio alumnado. Por último, las actividades de contraste, en mi opinión, son o deben ser una pieza fundamental del modelo metodológico, puesto que constituyen la forma y el momento en el que los alumnos se replantean sus ideas, las reelaboran y las interiorizan, es decir, con las actividades de contraste se consigue un aprendizaje real, debiendo elaborarse con mucha preparación y planificación y teniendo muy claro lo que se pretende conseguir con ellas.

### **Referencias bibliográficas**

- Bain, K. (2007). *Lo que hacen los mejores profesores de universidad*. Valencia: Publicaciones Universidad de Valencia.
- Bobadilla, L. F. (2019). Aplicación de un ciclo de innovación docente en la asignatura Catálisis para la Industria y el Medio Ambiente del Grado en Química. En R. Porlán y E. Navarro (Coord.), *Ciclos de Mejora en el aula. Año 2019. Experiencias de innovación docente de la Universidad de Sevilla* (pp. 1777-1794). Sevilla: Editorial de la Universidad de Sevilla. <http://dx.doi.org/10.12795/9788447221912.077>
- De Alba, N. y Porlán, R. (2017). La metodología de enseñanza. En R. Porlán (Coord.), *Enseñanza universitaria. Cómo mejorarla* (pp. 37-54). Madrid: Ediciones 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, *Docentes universitarios. Una formación centrada en la práctica*, (pp. 127-162). Madrid: Morata.
- Finkel, D. (2008). *Dar clase con la boca cerrada*. Valencia: Publicaciones Universidad de Valencia.
- 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). Madrid: Ediciones Morata.
- García Pérez, F. F. y Porlán, R. (2017). Los principios didácticos y el modelo didáctico personal. En R. Porlán (Coord.), *Enseñanza universitaria. Cómo mejorarla* (pp. 93-104). Madrid: Ediciones Morata.

- Iglesias, J. (2018). Ciclos de mejora docente en la asignatura de Química General basados en el trabajo guiado. En R. Porlán y E. Navarro (Coord.), *Monográfico V Jornadas de Formación e Innovación docente del profesorado* (pp. 1153-1169). Sevilla: Editorial de la Universidad de Sevilla. <http://dx.doi.org/10.12795/JDU.2018.i01.65>
- Perejón, A. (2019). Innovación docente aplicada a las prácticas de laboratorio de la asignatura Ingeniería de Superficies. En R. Porlán y E. Navarro (Coord.), *Ciclos de Mejora en el aula. Año 2019. Experiencias de innovación docente de la Universidad de Sevilla* (pp. 2396-2418). Sevilla: Editorial de la Universidad de Sevilla. <http://dx.doi.org/10.12795/9788447221912.107>
- Porlán, R. (2020). El cambio de la enseñanza y el aprendizaje en tiempos de pandemia. *Revista de educación ambiental y sostenibilidad* 2(1), 1502.
- Porlán, R. y Rivero, A. (2017). La evaluación en la enseñanza universitaria. En R. Porlán (Coord.) *Enseñanza universitaria. Cómo mejorarla* (pp. 73-92). Madrid: Ediciones Morata.
- Sánchez, E. M. (2019). El liderazgo como herramienta útil del alumnado en su proceso de aprendizaje. En R. Porlán y E. Navarro (Coord.), *Ciclos de Mejora en el aula. Año 2019. Experiencias de innovación docente de la Universidad de Sevilla* (pp. 955-977). Sevilla: Editorial de la Universidad de Sevilla. <http://dx.doi.org/10.12795/9788447221912.042>