



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

Proyecto de Innovación

Convocatoria 2022/2023

Nº de proyecto 172

Mentoría pedagógica como método de formación del profesorado universitario.
Experiencia en la asignatura "Química Analítica I" del grado en Química

Responsable del Proyecto:

Alfredo Sánchez Sánchez

Facultad de Ciencias Químicas

1. Objetivos propuestos en la presentación del proyecto

Una de las actuales preocupaciones en el ámbito universitario es tanto la adecuación de la formación ofrecida a los estudiantes a las necesidades del mercado laboral, como la calidad de dicha formación. En este sentido, con el fin de ofrecer una formación de calidad a los estudiantes, resulta de vital importancia la de mejorar la calidad docente del profesorado universitario. Evidentemente, más allá de las capacidades innatas de cada profesor, el poder mejorar esta calidad docente del profesorado radica en el establecimiento de unas adecuadas herramientas de formación, y en este sentido, se debe tener en cuenta las peculiaridades de las distintas asignaturas impartidas, así como las necesidades en los distintos grados e incluso las peculiaridades de las diferentes ramas de conocimiento.

Sin embargo, a pesar de la necesidad notoria de proporcionar una formación individualizada y especializada a los futuros docentes, desde la etapa predoctoral, cuando muchos futuros profesores aún son estudiantes, pasando por etapas posteriores, ya como doctores, a través de becas y contratos de gran prestigio a nivel nacional, tales como los programas “Juan de la Cierva” o “Ramón y Cajal” u otras análogas a nivel autonómico, priman los logros en investigación, dando un pequeño peso a la experiencia docente y limitando también la capacidad docente de los futuros profesores universitarios. Además, la mayoría de las tareas docentes en las cuales los “investigadores” se les permite impartir docencia, generalmente práctica, quedan en muchos casos relegadas a un segundo plano, ya que las principales obligaciones en estos casos son las relacionadas con las tareas de investigación. Sumado a esto, debemos tener en cuenta que los baremos establecidos por la universidad para el acceso a la figura de Profesor Ayudante Doctor fijan en tan solo 2 puntos sobre un total de 14 el peso de la experiencia docente y formación para la impartición de docencia en el ámbito universitario.

Por otro lado, con el fin de solventar estas limitaciones que aparecen intrínsecas a las primeras etapas de la trayectoria docente del joven profesorado universitario, la propia universidad tiene un plan de formación de profesorado muy activo, el cual resulta muy atractivo y aporta herramientas muy interesantes para los nuevos profesores. Sin embargo, debido a la alta demanda de estos cursos, se limita la participación a dos cursos de formación docente anualmente. Esto, junto con la gran diversidad de perfiles que existen en la universidad y a pesar de la gran utilidad que tienen, resultan en una formación muy general que en muchos casos queda lejos de las necesidades propias de cada asignatura y de cada profesor. Por ello, consideramos que resulta de gran relevancia la posibilidad de ofrecer una formación docente especializada e individualizada para los jóvenes profesores, la cual se puede conseguir mediante un modelo de mentoría y, que, a

pesar de ajustarse a cada caso concreto, puede ser perfectamente extrapolable a otras asignaturas, grados, e incluso a ramas no científicas.

Por lo que, el principal objetivo de la presente propuesta es la de crear y evaluar un modelo de mentoría pedagógica como herramienta para la formación del profesorado universitario desde las primeras etapas de la trayectoria docente, asegurando así, la calidad de la formación universitaria. Se pretende de este modo crear un modelo que sirva para guiar y ayudar a los profesores universitarios noveles en sus tareas docentes. Para dar cumplimiento de este objetivo general, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Incentivar la formación docente activa del profesorado novel a través de un programa de mentoría desde la etapa predoctoral que incluya la planificación de actividades en el aula hasta la evaluación de asignaturas, incluyendo la propia práctica y su autoevaluación.
- Promover la cooperación entre el profesorado con experiencia y los profesores noveles.
- Proveer de una formación docente especializada en el área de conocimiento a los profesores noveles, basada en la experiencia propia del personal del departamento en el que desarrollan su labor.
- Familiarizar a los profesores noveles con todas las herramientas y espacios disponibles para el desarrollo de su actividad docente como son el Campus Virtual y sus múltiples posibilidades, distintos espacios hábiles en la facultad y el laboratorio de prácticas.
- Obtener una retroalimentación continua del profesor con experiencia, para conseguir la mejora de la actividad docente de los profesores noveles.
- Obtener una interacción directa y fluida entre los participantes sobre el programa para incluir mejoras en el proyecto docente.

Para la ejecución de este proyecto se propone utilizar la asignatura de Química Analítica I del grado de Química. Un aspecto que cabe destacar en esta propuesta es que la experiencia obtenida pueda ser extrapolable a otras materias, tanto en el área de la Química como en otras ramas. Para ello se deberá reajustar algunas de las actividades propuestas, así como el cronograma.

2. Objetivos alcanzados

Una de las finalidades más directas del desarrollo de este proyecto de innovación ha sido la de facilitar y promover la interacción entre profesores noveles, con escasa experiencia docente, principalmente en la asignatura de Química Analítica I del Grado en Química, y profesores más experimentados. Esto ha permitido realizar una puesta en común de

distintas metodologías didácticas, así como comprobar y consensuar la metodología más adecuada en función de la docencia propia de la asignatura seleccionada así como del número de alumnos matriculados en cada grupo. Todo esto resulta además en una mejor organización temporal de la asignatura por parte del profesorado.

Esta cooperación entre profesores que se encuentran en distintas fases de su carrera docente, ha permitido a los profesores noveles (incluyendo a los estudiantes de doctorado en este grupo) obtener una formación docente más específica de la asignatura en estudio, con las características propias de dicha asignatura, tanto en extensión de temario, adecuación del uso de seminarios de problemas como apoyo de dicha docencia, integración de prácticas de laboratorio en dicha formación, e incluso partiendo de la base de conocimiento del estudiantado que accede a la asignatura seleccionada. Esta formación recibida resulta de gran interés para el profesorado novel ya que parte de la experiencia de los mentores en la propia asignatura, por lo que gracias a esta experiencia es posible prever problemáticas que surgirán en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Además, gracias a la experiencia de los mentores, se ha podido familiarizar a los profesores noveles en el uso de distintas herramientas como el uso del Campus Virtual, aconsejando qué material didáctico facilitar al estudiantado y el modo en que hacerlo, así como otras herramientas como el uso de tutorías grupales o la solicitud de distintas tareas de cara a la evaluación del trabajo individual de la asignatura, que en este caso representa el 15% de la nota final.

En este sentido, la posibilidad de interactuar de una forma tan directa y constante con los mentores ha supuesto para los profesores noveles un apoyo continuo en su labor docente, que gracias a esta interacción y la retroalimentación por parte de los mentores ha permitido mejorar la actividad docente de los profesores noveles, aportándoles además un valor añadido gracias a la confianza que han sentido al tener el apoyo de un mentor experimentado como soporte a su labor docente.

De este modo, se ha podido avanzar en todos los objetivos específicos propuestos en el proyecto de innovación, gracias fundamentalmente a la buena interacción y cooperación de los profesores participantes.

3. Metodología empleada en el proyecto

La metodología empleada en el desarrollo de este proyecto de innovación ha incluido distintos aspectos, tales como la elaboración de unidades didácticas, en base a la experiencia previa en la asignatura Química Analítica I de los profesores mentores, haciendo incluso un reparto definido de la materia a impartir en cada una de las clases

presenciales. En esta distribución se han separado clases puramente teóricas de otras clases en las que se ha desarrollado con ejemplos numéricos todo lo aprendido en esas clases teóricas, indicando además algunos ejemplos particulares o supuestos concretos en los que no se puede seguir la norma general.

Además, los profesores noveles han asistido a las clases magistrales de los profesores mentores en repetidas ocasiones lo que les ha servido no solo para comprobar la metodología empleada para impartir la docencia de la asignatura seleccionada, sino que además han podido observar de primera mano las dudas que los alumnos plantean en clase para el temario y los casos específicos mostrados, lo que permite adecuar la metodología y las explicaciones teóricas así como el empleo de algunos ejemplos aclaratorios en sus clases.

Por otro lado, se ha preparado una librería de problemas de la asignatura, en la que tanto los profesores mentores, con ejemplos ya descritos en cursos anteriores, como los profesores noveles, principalmente con nuevos ejemplos, han recogido la resolución de dichos problemas, incluyendo las aclaraciones más importantes en el procedimiento de resolución seguido, así como alternativas para la resolución de dichos problemas. En este sentido, cabe destacar que además se ha añadido en algunos casos una resolución errónea de los problemas, en la que se ha indicado los errores cometidos aclarando de forma razonada dichos errores. Esto ha resultado ser una herramienta muy útil para los profesores noveles, ya que no solo han podido comprobar distintas alternativas o metodologías de resolución, sino que, con la incorporación de resoluciones erróneas, que habitualmente realizan los estudiantes, ha permitido al profesorado de nueva incorporación enfocar estos ejemplos en el aula para aclarar aspectos críticos que no han sido comprendidos de una forma clara por parte de los estudiantes, mejorando por tanto la actividad docente.

Finalmente, esta metodología basada en comprobar los errores más habituales en el trabajo de los estudiantes, se ha abordado desde la perspectiva de las prácticas de laboratorio asociadas a la asignatura. Para ello, se ha podido comprobar en el laboratorio, de forma previa a la realización de las prácticas por parte de los estudiantes y con la supervisión de los profesores mentores, cómo afectan al desarrollo de estas sesiones dichos errores, justificándolo desde el punto de vista del temario impartido de forma teórica.

4. Recursos humanos

Los recursos humanos, con los que se ha contado para este proyecto han sido profesores

del departamento de Química Analítica, estudiantes del programa de Doctorado de la Facultad y un técnico de laboratorio del departamento de Química Analítica. Estos recursos humanos incluyen:

- 1) Seis profesores del Departamento de Química Analítica, cuatro de ellos profesores de la Asignatura de Química Analítica I, otro más con experiencia previa en dicha asignatura y otro que aún no ha impartido docencia de dicha asignatura (Alfredo Sánchez Sánchez, Coordinador; Reynaldo Villalonga Santana, Javier Urraca Ruiz, Emma Gracia Lor, Juan José Rodríguez Bencomo y Diana Vilela García).
- 2) Un técnico de laboratorio (PAS) (David Molla Escudero).
- 3) Dos estudiantes del programa de Doctorado en Química Avanzada (Beatriz Mayol Hornero y Anabel Villalonga Chico).

Además, hemos contado con la colaboración de otros profesores del Departamento que participan en la asignatura seleccionada (María Gamella Carballo, Verónica Serafín González-Carrato.)

5. Desarrollo de las actividades

Las actividades desarrolladas en este proyecto de investigación a destacar es la preparación de unidades didácticas, dividiendo el temario a impartir así como organizando la separación de la parte de teoría pura y de los ejemplos a través de la resolución de problemas.

Por otro lado, otra de las actividades realizadas ha consistido en la asistencia por parte de los profesores noveles a las clases impartidas por los profesores mentores, donde han podido comprobar *in situ* la metodología seguida así como los puntos más críticos de cada lección, junto con las dudas más habituales que les plantea el temario impartido a los estudiantes, lo que les ha dado un enfoque más claro de cada lección permitiendo corregir y mejorar la docencia impartida, adecuándola de una forma más correcta al caso particular del temario impartido.

Además, cabe destacar que el aspecto más significativo de este proyecto ha sido la elaboración de una librería de problemas entre los profesores participantes, indicando tanto distintas metodologías posibles de resolución como mostrando los errores más habituales. Esto ha permitido generar una guía a modo de "libro del profesor" con algunos de los casos más representativos del temario, donde se incluyen modelos "tipo" así como casos concretos que se salen de la norma.

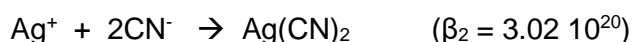
Algún ejemplo de esta guía se muestra a continuación:

Ej. 1. ¿Qué peso de AgBr se disolverá en 200 mL de KCN $7 \cdot 10^{-5}$ M?

Datos: $\beta_2(\text{Ag}(\text{CN})_2) = 3.02 \cdot 10^{20}$; $K_s(\text{AgBr}) = 5.0 \cdot 10^{-13}$; $P_m(\text{AgBr}) = 187.7 \text{ g/mol}$

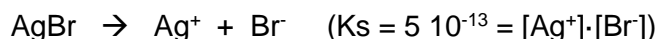
Resolución correcta:

Al tener una constante de formación tan elevada el $\text{Ag}(\text{CN})_2$ ($\beta_2 = 3.02 \cdot 10^{20}$) esto va a implicar que se va a formar todo lo posible de $\text{Ag}(\text{CN})_2$, teniendo en cuenta cual es el reactivo limitante que en este caso al no indicar cantidad disponible de AgBr será el KCN ($7 \cdot 10^{-5}$ M) según:



Por lo que la cantidad de Ag^+ que estará en forma de $\text{Ag}(\text{CN})_2$ será $\frac{1}{2} \cdot n(\text{CN}^-) = \frac{1}{2} \cdot 0.2 \text{ L} \cdot 7 \cdot 10^{-5} \text{ M} = 7 \cdot 10^{-6} \text{ mol}$, al tener en cuenta la estequiometría. Además, como esa Ag^+ viene de del AgBr, en la disolución quedará esa misma cantidad de Br^- , es decir $[\text{Br}^-] = 7 \cdot 10^{-6} \text{ mol} / 0.2 \text{ L} = 3.5 \cdot 10^{-5} \text{ M}$. Lo que significa que ya se ha disuelto esta parte de AgBr.

Finalmente, se debe tener en cuenta que en el medio habrá tanto Ag^+ como Br^- , según fija la constante de solubilidad:



Por lo tanto, la solubilidad del AgBr vendrá dada por:

$$K_s = 5 \cdot 10^{-13} = [\text{Ag}^+] \cdot [\text{Br}^-] = (s - 3.5 \cdot 10^{-5} \text{ M}) \cdot s \rightarrow s = 3.501 \cdot 10^{-5} \text{ M} = (*PM) = 6.57 \text{ mg/L}$$

Resolución incorrecta:

Mediante la simplificación $K_s' = [\text{Ag}^+]' [\text{Br}^-] = K_s \alpha_{\text{Ag}(\text{CN})_2}$

$$\text{Donde } \alpha_{\text{Ag}(\text{CN})_2} = 1 + \beta_2 [\text{CN}^-]^2 = 1 + (7 \cdot 10^{-5})^2 \cdot 3.02 \cdot 10^{20} = 1.5 \cdot 10^{12}$$

$$\text{Tenemos que } [\text{Ag}^+]' [\text{Br}^-] = K_s \alpha_{\text{Ag}(\text{CN})_2} = 5.0 \cdot 10^{-13} \cdot 1.5 \cdot 10^{12} = 0.74 = s^2$$

$$s = [\text{Ag}^+] = [\text{Br}^-] = 0.86 \text{ M} = (*PM) = 32.3 \text{ g/L}$$

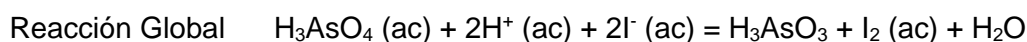
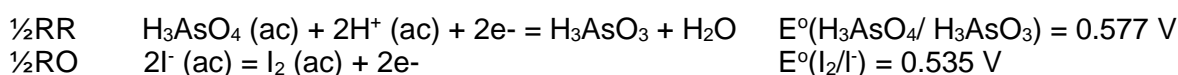
Es muy habitual en este tipo de problemas caer en el error de la simplificación explicada en clase de $K_s' = [\text{Ag}^+]' [\text{Br}^-] = K_s \alpha_{\text{Ag}(\text{CN})_2}$. Sin embargo, esta simplificación parte de la premisa de que la concentración del agente complejante, CN^- en este caso, se encuentra en exceso y es la concentración en exceso (en equilibrio) la que se usa para calcular α . Sin embargo, en este ejemplo, al poner una concentración muy pequeña de CN^- y no indicar un límite de disponibilidad de AgBr, es el agente complejante el que se encuentra como limitante de la reacción y por lo tanto no se puede realizar la simplificación indicada.

Esto se evidencia también si se comprueba que la adición de KCN en una concentración $7 \cdot 10^{-5}$ M no tiene ninguna lógica que consiga provocar una solubilidad de 0.86 M de AgBr, cuatro órdenes de magnitud por encima de la concentración añadida.

Ej. 2. La reacción entre ácido arsénico y yoduro se da en función del pH. Si se mezcla ácido arsénico 0.01 M con yoduro potásico 1 M, calcular el valor de pH a partir del cual dicha reacción se producirá cuantitativamente.

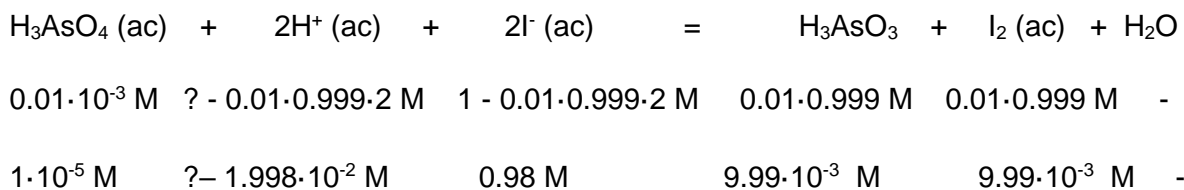
Datos: $E^\circ(\text{H}_3\text{AsO}_4/\text{H}_3\text{AsO}_3) = 0.577 \text{ V}$, $E^\circ(\text{I}_2/\text{I}^-) = 0.535 \text{ V}$.

Planteamos las medias reacciones de reducción y de oxidación, y a partir de ellas la reacción global.



Situación inicial: 0.01 M $? \text{ M}$ 1 M

Según la estequiometría, $n_T(\text{I}^-)/n_T(\text{H}_3\text{AsO}_4) = 2$, pero la situación inicial $n_T(\text{I}^-)/n_T(\text{H}_3\text{AsO}_4) = [\text{I}^-]/[\text{H}_3\text{AsO}_4] = 1 \text{ M}/0.01 \text{ M} = 100$, por lo que tenemos como reactivo limitante el H_3AsO_4 . Ya que nos preguntan por la concentración de H^+ , estamos suponiendo que este no es el limitante. De este modo, si la reacción es cuantitativa respecto al reactivo limitante, su concentración en equilibrio será 10^{-3} veces la concentración inicial habiendo reaccionado el 99.9% del reactivo inicial. Tendremos entonces en el equilibrio:



Resolución mediante la ecuación de Nernst:

Partiendo de la condición de equilibrio, en el cual el potencial de las reacciones de reducción y oxidación son iguales, vamos a calcular el potencial de dicha situación para relacionarle con la con el pH del medio. Planteamos inicialmente la ecuación de Nernst de la reacción de oxidación, que no está afectada por el pH:

$$\begin{aligned} E(\text{I}_2/\text{I}^-) &= E^\circ(\text{I}_2/\text{I}^-) + (0.059/n) \cdot \log [\text{I}_2]/[\text{I}^-]^2 = 0.535 + (0.059/2) \cdot \log (9.99 \cdot 10^{-3})/(0.98)^2 \\ &\rightarrow E(\text{I}_2/\text{I}^-) = 0.4765 \text{ V} \end{aligned}$$

Este potencial va a ser el mismo que en la reacción de reducción

$$E(\text{H}_3\text{AsO}_4/\text{H}_3\text{AsO}_3) = E^\circ(\text{H}_3\text{AsO}_4/\text{H}_3\text{AsO}_3) + (0.059/n) \cdot \log [\text{H}_3\text{AsO}_4][\text{H}^+]^2/[\text{H}_3\text{AsO}_3]$$

$$E(\text{H}_3\text{AsO}_4/\text{H}_3\text{AsO}_3) = 0.4765 \text{ V}$$

$$0.4765 \text{ V} = E^\circ(\text{H}_3\text{AsO}_4/\text{H}_3\text{AsO}_3) + (0.059/2) \cdot \log [\text{H}_3\text{AsO}_4]/[\text{H}_3\text{AsO}_3] + 0.059 \cdot \log[\text{H}^+]$$

$$0.4765 \text{ V} = 0.577 \text{ V} + 0.0295 \cdot \log (10^{-5})/(9.99 \cdot 10^{-3}) + 0.059 \cdot \log[\text{H}^+]$$

$$\rightarrow \log[\text{H}^+] = -0.204 \quad \rightarrow [\text{H}^+] = 0.626 \text{ M}$$

Como esto es en equilibrio, inicialmente necesitábamos una concentración de:

$$0.626 + 0.01 \cdot 0.999 \cdot 2 \text{ M} = 0.646 \text{ M} \rightarrow \text{pH} = 0.19$$

Resolución mediante la constante de equilibrio:

Para calcular la constante de equilibrio utilizaremos la ecuación: $\Delta E^\circ = (0.059/n) \cdot \log K_e$

Para ello necesitamos determinar el valor de ΔE° .

$$\Delta E^\circ = E^\circ (\frac{1}{2}RR) - E^\circ (\frac{1}{2}RO) = E^\circ(\text{H}_3\text{AsO}_4/\text{H}_3\text{AsO}_3) - E^\circ(\text{I}_2/\text{I}^-) = 0.577 \text{ V} - 0.535 \text{ V} = 0.042 \text{ V}$$

Por tanto: $\Delta E^\circ = (0.059/n) \cdot \log K_e$

$$0.042 = (0.059/2) \cdot \log K_e \rightarrow K_e = 26.53$$

Como:

$$K_e = \frac{[\text{H}_3\text{AsO}_3] \cdot [\text{I}_2]}{[\text{H}_3\text{AsO}_4] \cdot [\text{I}^-]^2 \cdot [\text{H}^+]^2}$$
$$26.53 = \frac{[9.99 \cdot 10^{-3}] \cdot [9.99 \cdot 10^{-3}]}{[10^{-5}] \cdot [0.98]^2 \cdot [\text{H}^+]^2}$$

$$\rightarrow [\text{H}^+] = 0.626 \text{ M}$$

Como esto es en equilibrio, inicialmente necesitábamos una concentración de:

$$0.626 + 0.01 \cdot 0.999 \cdot 2 \text{ M} = 0.646 \text{ M} \rightarrow \text{pH} = 0.19$$

De este modo se confirma que es posible resolver el problema propuesto por dos vías distintas, ya que ambas se fundamentan en las mismas premisas como son que el potencial de ánodo y cátodo en el equilibrio son iguales y que la constante de equilibrio de la reacción global se relaciona con la diferencia de potencial entre la reacción de reducción y la de oxidación, por lo que se alcanza el mismo resultado.