



# Mejora de protocolos de laboratorio como ejemplo de prácticas científicas en ESO y Bachillerato

Natalia Oñate Salafranca y Ángel Luis Cortés Gracia

Departamento de Didácticas Específicas, Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España

[Recibido el 8 de junio de 2022, aceptado el 3 de noviembre de 2022]

En este trabajo se describe la puesta en práctica y los resultados de una propuesta didáctica centrada en la mejora de protocolos de laboratorio para la observación microscópica de células y procesos celulares. A partir de una situación problemática de aparente carácter técnico, el alumnado debe poner en juego sus conocimientos científicos, contrastar con modelos, discutir los resultados, dar argumentos basados en los mismos y realizar propuestas de mejora. De esta forma, los estudiantes son conscientes de las dificultades que acompañan a las prácticas científicas y, normalizando el error o la incertidumbre como parte del proceso, tratan de dar respuesta a los problemas planteados con un notable uso del pensamiento crítico.

**Palabras clave:** protocolo de laboratorio; prácticas científicas; microscopio; célula; argumentación.

## Improvement of laboratory protocols as an example of research practice in high schools

This paper describes the implementation and results of a teaching proposal for the improvement of laboratory protocols for the microscopic observation of cells and cellular processes. Students were presented with a problematic situation of an apparently technical nature and instructed to apply their scientific knowledge, compare different models, analyse the results, formulate arguments based on them, and make proposals for improvement. In this way, students were made aware of the difficulties associated with research practice, taught to normalise error and uncertainty, and encouraged to respond to problems using critical thinking.

**Keywords:** laboratory protocol; scientific practices; microscope; cell; argumentation.

## Introducción

Desde hace años, las recomendaciones de la Didáctica de las Ciencias Experimentales incluyen, entre otros aspectos, la realización de prácticas científicas en el aula que permitan desarrollar el pensamiento crítico, aceptar los errores y avanzar a través de los mismos, así como adaptar las propuestas educativas a las necesidades del alumnado. No obstante, enseñar ciencias de una forma más “científica” no implica una enseñanza “prescriptiva, basada en protocolos estandarizados que el docente debe aplicar a rajatabla” (Couso et al., 2020, p.9). Así, diversos autores apuntan desde hace años hacia una práctica que ayude a la socialización de los jóvenes en las normas y prácticas de la ciencia auténtica (Driver et al., 2000). En ese contexto, las actividades de laboratorio se presentan como una oportunidad para trabajar la argumentación y el uso de pruebas (Kind et al., 2011) y plantear tanto prácticas epistémicas relacionadas con la naturaleza del conocimiento y su construcción (Domènech Casal y Marbà Tallada, 2022), como no epistémicas, como son la cooperación y colaboración, las relaciones personales, la comunicación científica o la retórica en la persuasión (García-Carmona, 2021).

En el caso de la Biología, el aprendizaje de los conceptos y modelos relacionados con la célula requiere de la necesaria aportación de recursos gráficos y actividades prácticas que acerquen al alumnado al mundo microscópico (Tapia y Arteaga, 2012). Para ello, existen muchas propuestas didácticas que usan imágenes reales y modelos, por ejemplo, a través del trabajo con microfotografías (Mengascini, 2006), mediante la construcción de modelos cada vez más evolucionados (Verhoeff et al., 2008), o introduciendo las TIC de manera que el aprendiz pueda interactuar con modelos complejos tridimensionales gracias a la realidad aumentada (Galagovsky et al., 2017; Ospina Quintero y Galagovsky, 2017). Por otro lado, también son frecuentes las propuestas que fomentan la realización de preparaciones de muestras y el uso del microscopio en las aulas/laboratorios, lo que fomentaría tanto el desarrollo de destrezas instrumentales como la experiencia directa en la observación del mundo microscópico (Grilli et al., 2015). Esa observación puede y debe ir acompañada de la realización de dibujos, esquemas o fotografías que permitan identificar formas, estructuras y sus relaciones, así como establecer conexiones entre la realidad y los modelos que aparecen normalmente en clase (Díaz de Bustamante y Jiménez Aleixandre, 1996).

La observación del mundo microscópico permite al alumnado pasar de los modelos que aparecen en los libros de texto (o los que ha construido en su mente a lo largo de la escolarización) a modelos más complejos y realistas basados en la experiencia directa con los objetos y materiales observados (Muñoz-Campos et al., 2018). Las experiencias de microscopía son, generalmente, momentos de especial motivación para el estudio de las ciencias naturales, en los que muchos estudiantes destacan que constituyen una de las acciones que más contribuye a mejorar su aprendizaje (Bündchen et al., 2019). La forma más simple de aproximarse al estudio de los objetos microscópicos es a través de lupas de mano y microscopios simples (Del Mazo, 2019), si bien el uso de microscopios más complejos permite además trabajar con distintas escalas y aproximaciones, de forma que se puedan abordar observaciones de elementos muy diferentes (López-Pérez y Boronat-Gil, 2018). Del mismo modo, este tipo de actividades prácticas también permiten conectar el mundo microscópico con la vida cotidiana (López-Pérez, 2009; Colín-Martínez y García-Estrada, 2016). En todos los casos, describir lo observado y dibujar o capturar las imágenes van a constituir factores fundamentales en la construcción de modelos en el alumnado (Gómez y Gavidia, 2015), de forma que la experiencia no debe quedarse en el simple manejo de los instrumentos, sino en el uso de los mismos para la comprensión de los modelos científicos.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, parece que hay acuerdo sobre las bondades de las actividades prácticas que acercan al alumnado al mundo microscópico para la compren-

sión y/o la construcción de modelos. Ahora bien, ¿qué tipo de preparaciones microscópicas son adecuadas para el uso en las aulas de ESO y Bachillerato?, ¿quién decide qué tipo de muestras preparar y con qué criterio?, ¿qué tipo de protocolos sigue el profesorado o el alumnado para la preparación del material que van a observar en el laboratorio escolar? En general, es habitual usar protocolos preestablecidos que aparecen en los libros de texto o en recursos de apoyo al profesorado (López Pérez, 2009; Pôrto Marques y Dutra da Rosa, 2015). Seguir estos procedimientos implica ajustarse a una secuencia de actuaciones tipo “receta” que normalmente nos debería llevar al éxito, pero... ¿siempre funcionan?, ¿nos da tiempo en una sesión de clase a seguir un protocolo determinado, repetirlo si nos equivocamos y observar con tranquilidad las preparaciones?, ¿sabemos qué implica cada uno de los pasos del protocolo de laboratorio?, ¿se podría hacer de otra manera y aun así observar lo que vamos buscando? Algunos trabajos recientes muestran cómo el debate con el alumnado sobre los procedimientos empleados y la tarea de discutir y mejorar los protocolos favorecen el aprendizaje interdisciplinar (Esteban Gallego et al., 2019). Otros señalan que la oportunidad para diseñar los protocolos experimentales y modificarlos identificando las variables implicadas y proponiendo alternativas permiten mejorar los modelos iniciales del alumnado (Cortés y de la Gándara, 2006; Muñoz-Campo et al., 2020).

En este trabajo se muestran la estructura general y los resultados de una propuesta didáctica en la que la puesta a prueba y mejora de los protocolos de preparación de muestras para microscopía constituye el eje vertebrador de un conjunto de prácticas científicas que ponen en juego la indagación, la modelización y la argumentación.

## Objetivos

El principal objetivo del trabajo es describir y evaluar el desarrollo de una práctica de laboratorio dirigida a la mejora de protocolos para trabajar los procesos de las ciencias. La propuesta didáctica persigue involucrar al alumnado de ESO y Bachillerato en prácticas científicas auténticas en las que tienen que poner a prueba sus conocimientos y los recursos aportados por el profesorado, así como argumentar, contrastar modelos y tomar decisiones antes de responder a las preguntas que orientan la indagación escolar.

## Metodología

### Contexto de la propuesta didáctica

La propuesta descrita se aplicó durante el curso 2020-2021 en varias aulas del IES de Villanueva de Gállego, situado en Villanueva de Gállego (Zaragoza). Los grupos con los que se trabajó fueron dos clases de 4º de ESO (20 y 21 estudiantes por clase), una de 1º de Bachillerato (9 estudiantes) y una de 2º de Bachillerato (4 estudiantes). En todos los casos el contexto físico de trabajo fue el laboratorio del centro durante el desarrollo de sesiones prácticas de la asignatura de Biología y Geología, donde los estudiantes trabajaron en pequeños grupos.

Todos los grupos de clase contribuyeron al análisis de protocolos y a la mejora de los mismos, aunque no en la misma medida. Al alumnado se le presentaron inicialmente dos protocolos de preparación de muestras que debían poner en práctica, valorar y argumentar sobre su adecuación. El grupo de 1º de Bachillerato (9 estudiantes) es el que finalmente recibió las propuestas de mejora de la puesta en práctica inicial de los protocolos por parte de sus compañeros de 4º ESO y 2º de Bachillerato y realizó las siguientes fases que incrementaron su nivel de apertura experimental. A continuación, se detallan los protocolos, las preguntas planteadas que orientaron la indagación y la distribución general de actividades y tareas.

### **Protocolos presentados**

Se trata de dos protocolos (P1 y P2) para la realización de una preparación microscópica de células meristemáticas de la raíz de cebolla de forma que se pueda estudiar la mitosis en las mismas mediante el uso del microscopio. Ambos deberían permitir al alumnado tener una muestra adecuada para este propósito, aunque se diferencian en algunos de los materiales recomendados, así como en el grado de detalle del procedimiento descrito. Los dos protocolos aparecen en páginas de recursos de acceso abierto en Internet y contienen además preguntas relacionadas tanto con el procedimiento como con los contenidos científicos (mitosis) cuyo aprendizaje pretenden facilitar con la actividad.

P 1: <http://farmaciaulat.blogspot.com/p/mitosis-en-meristemas-vegetal.html>

P 2: [https://www.mclibre.org/otros/daniel\\_tomas/laboratorio/Mitosis/mitosis.html](https://www.mclibre.org/otros/daniel_tomas/laboratorio/Mitosis/mitosis.html)

### **Fases de la actividad y preguntas planteadas**

La secuencia de actividades de laboratorio comienza con una evaluación inicial en la que se pretende conocer la situación de partida del alumnado tanto desde el punto de vista conceptual como procedimental. Así, la primera pregunta trata de relacionar los conocimientos sobre la mitosis con la histología vegetal a través de la siguiente cuestión: ¿Por qué utilizamos esta parte de la planta para observar la mitosis? A continuación, se abordan los aspectos prácticos, que implican poner en común el procedimiento que se va a seguir, haciendo hincapié en el nivel de comprensión de las distintas fases de la preparación y en lo que se espera obtener con la observación de la muestra.

Una vez realizada esa evaluación inicial y presentados los protocolos (Sesión 1), la secuencia se desarrolla en tres fases donde se plantean cuatro “experimentos” diferentes a lo largo de 6 sesiones de unos 50 minutos que, en el caso descrito, conllevaron preguntas, momentos y contextos distintos: Fase 1 / Experimento I / Sesión 2 (4º ESO) y Experimento II / Sesión 3 (2º Bachillerato); Fase 2 / Experimento III / Sesiones 4 y 5 (1º Bachillerato); Fase 3 / Experimento IV / Sesiones 6 y 7 (1º Bachillerato). Esta secuencia pretende aumentar la apertura experimental en cada etapa en el sentido que propone Domènech (2013) “de modo que en cada una de ellas se deja en manos del alumnado un nuevo paso del proceso de investigación” (p. 252). Aunque en este trabajo se describe una experiencia concreta, la secuencia se puede adaptar a un único grupo que complete todas las fases de la misma o a varios subgrupos que trabajen independientemente las distintas variables y posteriormente contrasten los resultados obtenidos (figura 1). Por ello, y de cara a la posible replicación de la misma, hablaremos de fases de la secuencia, aunque indicaremos en su descripción los resultados de la intervención didáctica estudiada.

#### *Fase 1: Experimentos I y II (4º ESO y 2º Bachillerato)*

Para responder a la pregunta sobre cuál de los dos protocolos (P1 o P2) es más adecuado para la realización de la práctica en el contexto de la ciencia escolar, los estudiantes deben poner a prueba dichos protocolos y valorar los resultados obtenidos, argumentando en favor o en contra a partir de los mismos. Para ello, deben contrastar los resultados no solamente entre ellos, sino con modelos científicos en los que se describe la mitosis y sus fases. Las conclusiones obtenidas en los experimentos I y II se incorporan a las propuestas de mejora y se trasladan al grupo que realizará los experimentos III y IV en las siguientes fases de la secuencia.

#### *Fase 2: Experimento III (1º Bachillerato)*

Los estudiantes de este grupo reciben los protocolos anteriores, junto a las propuestas de mejora planteadas por el alumnado de 4º ESO y 1º Bachillerato, donde se ha incorporado

una nueva variable, por lo que la pregunta inicial se complementa con una nueva que solicita discutir sobre si es más adecuado el uso de puerro o cebolla para la preparación.

En este caso se ha introducido una variable que apenas modifica el tipo de planta y parte utilizada, ya que el puerro pertenece a la misma familia que la cebolla (*Amaryllidaceae*) y comparte muchas de sus características, como las pequeñas raicillas fasciculadas utilizadas para la práctica. Al finalizar esta fase se plantea la posibilidad de probar con otros colorantes para la tinción de las células.

*Fase 3: Experimento IV (1º Bachillerato)*

Se mantienen las preguntas anteriores, añadiendo una variable respecto a la fase previa de manera que se plantea usar dos colorantes distintos para el protocolo 1 y comparar los resultados con el protocolo 2, haciendo énfasis en su viabilidad para un contexto de ciencia escolar.

En esta fase se da la posibilidad de probar con otros colorantes para la tinción de las muestras de manera que se pueda valorar si hay otros factores que podrían mejorar la preparación sin modificar sustancialmente el procedimiento.

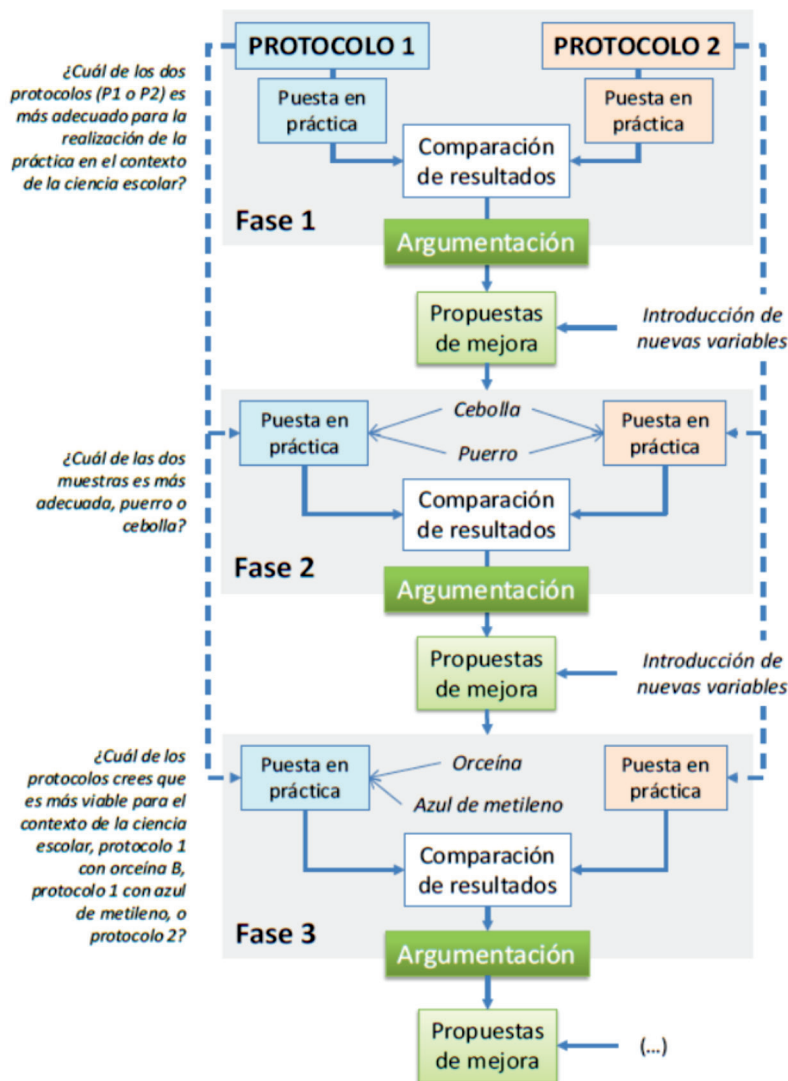


Figura 1. Esquema de la secuencia didáctica descrita

### **Instrumentos de recogida de información para la evaluación**

Durante el desarrollo de la secuencia de actividades se utilizaron tres instrumentos principales de recogida de información: informe de prácticas, formulario online y registro anecdótico.

El informe de prácticas (ver Anexo I) permitió recoger la descripción por parte del alumnado de los pasos seguidos, así como de los dibujos y fotografías realizadas durante la observación. También se les preguntaba sobre los problemas que habían surgido: ¿Qué parte (o partes) del protocolo crees que han podido fallar? Reflexiona sobre si crees que ha sido por un fallo humano (no seguir adecuadamente las instrucciones), por los materiales, por el propio protocolo (instrucciones poco claras), o por otros factores. Además, se les planteaban nuevas preguntas: ¿Qué cambios introducirías para mejorar el experimento? ¿Te apetece volver a repetir el experimento ahora que ya somos un poco más “expertos” en la materia?

Al finalizar cada fase los estudiantes tuvieron que responder a un formulario (ver Anexo II) y para ello se usó la aplicación Google Forms. Las cuestiones presentadas permitían recoger de forma individual las opiniones del alumnado y, al igual que el informe de prácticas, fomentaban la reflexión y la metacognición.

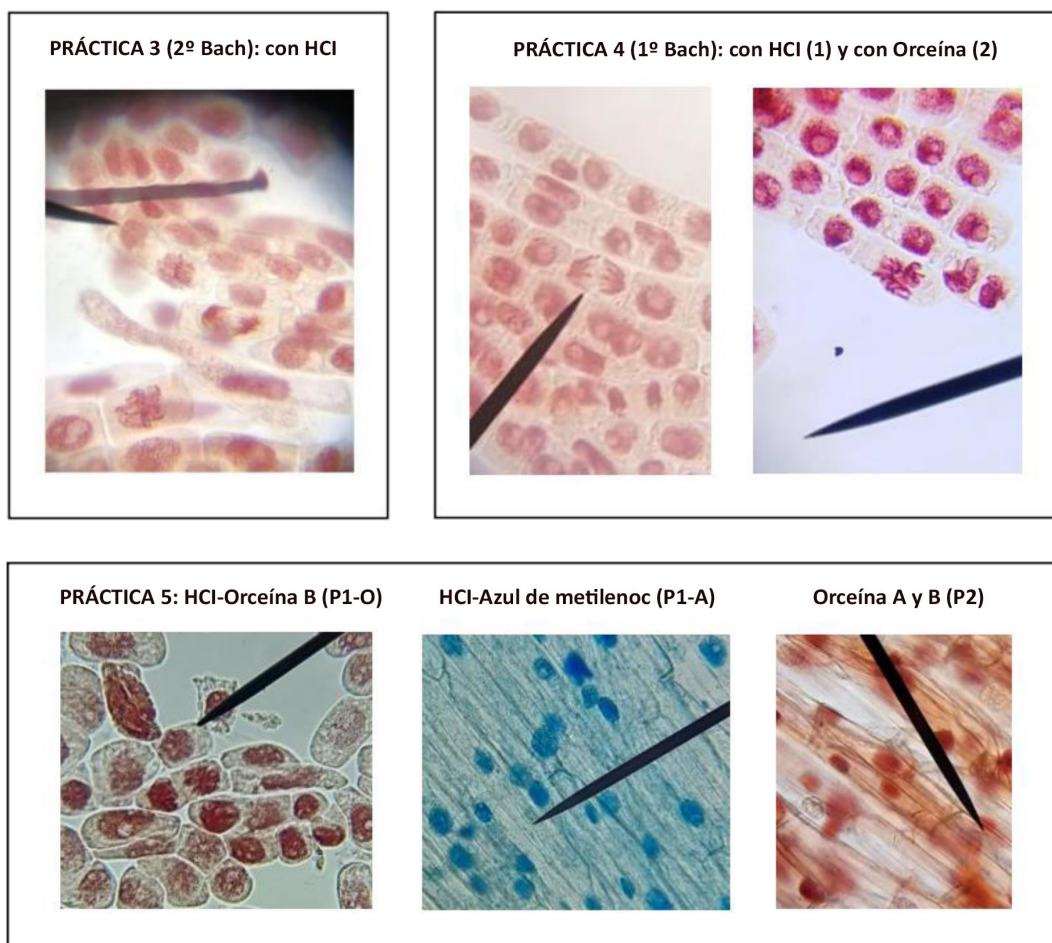
El registro anecdótico que fue completando el profesorado permitió contextualizar algunas decisiones tomadas en el aula. Por ejemplo, tras el debate en una de las sesiones se llegó al consenso de que el tiempo disponible y la calidad de los microscopios eran determinantes en la realización de la práctica. Los propios estudiantes, como propuesta de mejora, decidieron invertir su tiempo de recreo en revisar y catalogar los microscopios. De esta manera se aseguraban de que los problemas que surgieran en futuras observaciones no deberían achacarse al uso de un material inadecuado o en mal estado y así lo hicieron constar algunos estudiantes en sus respuestas individuales.

### **Resultados obtenidos durante la puesta en práctica**

Todos los alumnos fueron capaces de reconocer una célula en mitosis durante las sesiones de laboratorio y la mayoría identificaron la fase en que se encontraba, si bien es cierto que no todos consiguieron observar mitosis en las muestras que ellos mismos prepararon. En la figura 2 se muestran algunas de las preparaciones observadas en las sesiones prácticas de 1º y 2º de Bachillerato que los estudiantes fotografiaron con sus teléfonos móviles. En general, a través de sus informes de prácticas se constata que la mayoría de los estudiantes relacionaron lo observado en las células del ápice de la raíz con los procesos de división celular y se asociaron diversos factores al crecimiento de este tejido, aunque algunos alumnos no explicaron en qué sentido (positiva o negativamente), y alguno incluso lo comprendió erróneamente (la radiación UV propicia el crecimiento de las raíces).

Al mismo tiempo, también demostraron una elevada comprensión de las distintas fases y técnicas de laboratorio necesarias para la observación de una muestra tras la primera práctica. A través de la discusión colectiva, el alumnado del grupo fue capaz de detectar variables que pueden influir en el éxito de la observación (incluida la revisión de microscopios previa a la práctica), y así tomaron decisiones para evitar repetir problemas y errores. De esta forma, la puesta en común de los resultados, el contraste con los modelos científicos y los argumentos utilizados en la discusión dieron paso al planteamiento razonado de nuevas variables que podrían considerarse. Por ejemplo, un estudiante propuso el uso de azul de metileno como tinte alternativo, ya que conocía que también se utiliza para teñir núcleos y es más común en los laboratorios de los centros de secundaria. Así, el grupo aceptó la propuesta y rediseñó los protocolos y los grupos de experimentación. Del mismo

modo, en el caso de la dicotomía entre usar puerro o cebolla, todos los alumnos dieron respuestas argumentadas sobre la idoneidad de un tipo de muestra u otro, aunque éstas no coincidieran.



**Figura 2.** Preparaciones microscópicas fotografiadas por los estudiantes durante las sesiones prácticas

Para ilustrar el tipo de respuestas y argumentos utilizados por el alumnado a lo largo de la propuesta didáctica descrita, en la tabla 1 se muestran ejemplos de las mismas, destacando en este caso las correspondientes a las recogidas tras la finalización de la Fase 3, ya que incorporan elementos de discusión sobre todo lo ocurrido en la secuencia de actividades e incluyen todas las variables.

### Consideraciones finales

La secuencia didáctica descrita en este trabajo muestra cómo, a partir de la puesta en práctica de unos protocolos estandarizados, se puede construir un problema auténtico que capte el interés del alumnado involucrándolo en las prácticas científicas. En este caso, los ejemplos presentados corresponden a una situación coyuntural que favoreció la implicación de varios grupos de clase tanto en las pruebas como en las propuestas de mejora. Como se ha comentado anteriormente, la propuesta se puede adaptar a varios grupos trabajando con distintas variables o a un único grupo siguiendo una secuencia temporal más larga.

**Tabla 1.** Cuestiones planteadas y ejemplos de respuestas del alumnado tras finalizar la Fase 3 de la secuencia.

Cuestiones	Ejemplos de respuestas
¿Qué muestra y protocolo has hecho? (se presentan todas las combinaciones finales)	(Cada estudiante marca los protocolos que ha puesto a prueba)
¿Crees que hubo algún problema en la fase de CRECIMIENTO DE LAS RAÍCES?	Es posible que las raíces estuviesen demasiado tiempo en crecimiento y en parte se pudriesen. Sí, creo que la principal causa de que no se vieran las células en mitosis es haber dejado las raíces tanto tiempo en fase de crecimiento.
¿Crees que hubo algún problema en la fase de FIJACIÓN?	No, a no ser que no me haya dado cuenta. Puede ser que esta vez, al haber realizado esta fase los alumnos, hayamos cometido errores humanos al medir la cantidad de las sustancias de fijación.
¿Crees que hubo algún problema en la fase de ABLANDAMIENTO?	Es posible que alguna de las muestras no fuese el ápice porque no lo distinguía muy bien. Es verdad que en mi caso, tal vez si hubiera dejado la muestra más tiempo en esta fase para que se ablandara más, es posible que el squash (aplastamiento) hubiera sido más sencillo y hubiera salido mejor.
¿Crees que hubo algún problema en la fase de TINCIÓN?	Con el azul de metileno, porque veía todo muy oscuro, y no veía casi nada. No creo que hubiese ningún problema, igual se quemó un poco pero creo que no.
¿Crees que hubo algún problema en la fase de OBSERVACIÓN?	En la observación no creo que hubiese problemas, ya que teníamos los microscopios buenos, pero en el "squash" creo que al principio no lo aplastaba bien del todo y luego es posible que me pasase porque se ve algo muy extraño. No, esta vez no, porque dedicamos un rato antes de empezar la práctica a comprobar los microscopios, y sólo hemos utilizado los mejores, y que tienen una resolución perfecta.
Sube una foto de tus resultados	(Todos los estudiantes subieron fotografías)
Evalúa si consideras satisfactorios tus resultados (teniendo en cuenta la parte del experimento para la que son o no satisfactorios)	Creo que sí que son satisfactorios. A pesar de que esta vez no hemos podido observar células en mitosis como en la primera práctica, creo que este experimento nos ha servido para aprender de los errores, mejorar en el procedimiento, y para obtener mejores resultados en las próximas prácticas que hagamos. Yo pienso que satisfactorios del todo no son, pero es posible que el fallo no estuviese en el proceso que se realiza en clase sino en la duración del crecimiento de la raíz. Aunque lo más normal es fallar, y eso es bueno porque así aprendes lo que no debes hacer la próxima vez y lo que sí.



**Tabla 1.** Cuestiones planteadas y ejemplos de respuestas del alumnado tras finalizar la Fase 3 de la secuencia. Continuación

Cuestiones	Ejemplos de respuestas
A la luz de los resultados TOTALES (los de esta práctica y la anterior), ¿qué protocolo crees que es más viable para el contexto de la ciencia escolar? (P1 Azul de Metileno / P1 Orceína / P2). ¿Por qué?	(P1 azul de metileno) es mejor que el P1 orceína, porque es más común en los colegios. Y es mejor que el P2, porque es más fácil de hacer, y más difícil de quemar. Yo creo que los 2 protocolos son igual de buenos aunque el protocolo 2 es más tedioso.
¿Cuál de las dos muestras crees que es más fácil de manipular? (Cebolla / Puerro). ¿Por qué?	(Puerro) Porque las raíces del puerro son más finas, con que se hará más fácil la fase del squash. (Puerro) Porque el puerro, al no tener tantas capas como la cebolla, las células son mucho más fáciles de observar. Además de que el squash sale mejor con el puerro al ser más blando.
¿Qué propuestas de mejora del experimento se te ocurren?	El experimento está muy bien, aunque si tuviera que cambiar algo sería tener más clases para realizarlo, y así hacer nosotros también la fase de crecimiento de las raíces y poder hacer más de un protocolo, y repetir los ya hechos. En el caso de la cebolla se podría intentar calentarla un toque como con la orceína, a ver si así se ablanda un poco más.
¿Qué has aprendido en estas sesiones de prácticas? En general, sobre el método experimental, sobre la materia en cuestión...	He visto en vivo lo que es una mitosis, además de saber que la parte del puerro en el que más células se reproducen y más constantemente es en el ápice. He aprendido que a pesar de los errores que nos puedan salir en las prácticas no hay que decepcionarse ya que de los errores se aprende y no hay que parar nunca, nunca debemos de perder las ganas. Todas las variables que pueden afectar a que un experimento salga mal y todos los factores que se tienen que contemplar, la dificultad de poder observar mitosis. También a como se trabaja en los laboratorios y lo riguroso que hay que ser.
¿Te apetece repetir la práctica en Junio? (SI / NO)	(SI: 100%)
Si hay algo más que pienses sobre el experimento que no tenía cabida en las preguntas anteriores, este es el espacio para decirlo.	El azul de metileno funciona igual que la orceína, por lo que no es ningún problema si no hay orceína ya que para el protocolo 1 funciona. No pude sacar ninguna foto de mi muestra, porque se me olvidó y porque la cámara de mi móvil funciona mal. Pero como era obligatoria y no me dejaba entregarlo si no, he agregado una de internet.

Desde nuestra experiencia, dejar que los estudiantes pongan a prueba sus conocimientos y habilidades manipulativas, normalizar el error y solicitar una reflexión guiada (pero de respuesta abierta) sobre todos los aspectos trabajados ha mostrado el potencial de la propuesta para el fomento de diferentes aspectos metacognitivos asociados al aprendizaje de modelos y destrezas científicas. Los ejemplos de respuestas del alumnado que aparecen en la tabla 1 permiten interpretar que la mayoría de los estudiantes son conscientes de lo que saben y de lo que han hecho (para bien o para mal). Enunciados del tipo “puede ser que esta vez... hayamos cometido errores humanos al medir la cantidad de las sustancias”, “creo que este experimento nos ha servido para aprender de los errores, mejorar en el procedimiento, y para obtener mejores resultados en las próximas prácticas que hagamos” manifiestan un alto grado de autocrítica sin que haber fallado constituya una decepción. Del mismo modo, indican que “es posible que alguna de las muestras no fuese el ápice porque no lo distinguía muy bien” o “que las raíces estuviesen demasiado tiempo en crecimiento y en parte se pudriesen” lo que implica que parecen tener claro cuál es el problema y en algunos casos plantean soluciones para próximas prácticas como “en el caso de la cebolla se podría intentar calentarla un toque como con la orceína, a ver si así se ablanda un poco más”, o “eso es bueno porque así aprendes lo que no debes hacer la próxima vez y lo que sí”. También es relevante el hecho de que los estudiantes renunciasen a recreos para revisar los microscopios (y así evitar problemas técnicos) o que indicaran su deseo de repetir las prácticas al final del curso, lo que pone de manifiesto su actitud positiva hacia estas prácticas científicas y su motivación, al sentirse capaces de revisar sus acciones y hacer propuestas de mejora para volver a intentarlo. De esta forma, a través de la secuencia descrita se pudo poner en juego la dimensión epistémica de las prácticas de laboratorio (en el sentido de Domènech Casal y Marbà Tallada, 2022) que incluía, entre otros aspectos, el uso de pruebas, la argumentación, la evaluación de las limitaciones de la propuesta o la valoración fundamentada de las ventajas e inconvenientes ligados a la propia toma de decisiones. Por otro lado, también se aborda la dimensión no-epistémica (García-Carmona, 2021), al introducir aspectos relacionados con la colaboración intra e inter-niveles, la comunicación de los resultados, el uso de destrezas retóricas para la defensa de sus posiciones o las cuestiones éticas que conlleva no manipular o maquillar los resultados buscando una mejora real de esos protocolos.

¿Cuáles son las limitaciones de esta propuesta? La mayor limitación encontrada durante la puesta en práctica fue la cantidad de sesiones necesarias y la duración de las mismas. En este caso se solventó con la participación de varios grupos de 4º de ESO, 1º y 2º de Bachillerato, que resolvieron parcialmente los problemas a los que se enfrentaron. Evidentemente, desarrollar la secuencia completa con un solo grupo de clase, poniendo a prueba todos los protocolos, analizando los resultados y planteando propuestas de mejora antes de abordar un nuevo ciclo, puede parecer inabarcable en algunos cursos, especialmente en Bachillerato. Otro problema que podemos encontrar es la comprensión por parte del alumnado de los aspectos físico-químicos implicados en los procedimientos, como el papel de los reactivos y colorantes, la influencia de la temperatura en la tinción, el aplastamiento de la muestra y su relación con la observación, etc. Las respuestas nos pueden ayudar a interpretar si su comprensión ha sido adecuada, pero puede resultar complejo si los estudiantes no declaran abiertamente sus problemas o sus dudas. En este caso, el diseño de una base de orientación para el informe de prácticas o disponer de un cuestionario final con cuestiones muy concretas ha sido fundamental para la evaluación tanto del aprendizaje como del desarrollo de la propuesta didáctica.

No obstante, y a pesar de estas limitaciones, la propuesta descrita resultó atractiva para el alumnado, el nivel de implicación personal fue notable y permitió llevar a las aulas problemas que realmente afectaban a los estudiantes, que les permitían avanzar en la

construcción del conocimiento científico aceptando los errores y que fomentaban el desarrollo del pensamiento crítico, acercando a los mismos a prácticas que ponían en valor el trabajo científico y que mejoraban su actitud hacia la ciencia.

### Agradecimientos

A los revisores, por sus acertados comentarios y sugerencias. Al profesorado y alumnado del IES de Villanueva de Gállego (Zaragoza), en especial al departamento de Biología y Geología (María Andrés y Susana Martínez) por su disponibilidad durante la aplicación de la propuesta. A Francisco Alda (IES Félix de Azara, Zaragoza). Grupo de referencia BEAGLE de Investigación en Didáctica de Ciencias Naturales (S27-20R, Gobierno de Aragón y Fondo Social Europeo) Instituto de Investigación en Ciencias Ambientales de Aragón (IUCA/ UNIZAR). Proyecto PID2021-123615OA-I00 (Agencia Estatal de Investigación).

### Referencias bibliográficas

- Bündchen, M., Hepp, D., Horn, A.C.M., Aroni, M.S., Klacovicz, M.M., Neves, A.S. y Bolaños Díaz, A. (2019). "Un mundo a través de las lentes": las clases de microscopía como estrategia de motivación para el estudio de las ciencias y biología. *Revista Brasileira de Extensão Universitária*, 10(3), 109-114. DOI: <https://doi.org/10.24317/2358-0399.2019v10i3.10880>
- Colín-Martínez, H. y García-Estrada, C. (2016). Los ácaros del suelo y del polvo. Animales diminutos cerca de nosotros. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(1), 210-214. DOI: [http://dx.doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2016.v13.i1.16](http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2016.v13.i1.16)
- Cortés Gracia, A.L. y de la Gándara, M. (2006). La construcción de problemas en el laboratorio durante la formación del profesorado: una experiencia didáctica. *Enseñanza de las Ciencias*, 25(3), 435-450. DOI: <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3707>
- Couso, D., Jimenez-Liso, M.R., Refojo, C. y Sacristán, J.A. (Coords) (2020). *Enseñando Ciencia con Ciencia*. FECYT y Fundación Lilly. Madrid: Penguin Random House. Recuperado de: <https://www.fecyt.es/es/publicacion/ensenando-ciencia-con-ciencia>
- Del Mazo, A. (2019). Microscopio simple: mucho más que una simple lupa. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16(2), 2401. DOI: [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2019.v16.i2.2401](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i2.2401)
- Díaz de Bustamante, J. y Jiménez Aleixandre, M.P. (1996). ¿Ves lo que dibujas? Observando células con el microscopio. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(2), 183-194. DOI: <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4225>
- Domènech Casal, J. (2013). Secuencias de apertura experimental y escritura de artículos en el laboratorio: un itinerario de mejora de los trabajos prácticos en el laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 31(3), 249-262. DOI: <https://doi.org/10.5565/rev/ec/v31n3.851>
- Domènech Casal, J. y Marbà Tallada, A. (2022). La dimensión epistémica de la competencia científica. Ejes para el diseño de actividades de aula. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 42, 81-98. DOI: <https://doi.org/10.7203/DCES.42.21070>
- Driver, R., Newton, P y Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classroom. *Science Education*, 84(3), 287-312.

- Esteban Gallego, R., Marcos-Merino, J.M. y Gómez-Ochoa de Alda, J. (2019). Extracción de ADN con material cotidiano: diseño, implementación y validación de una intervención didáctica interdisciplinar. *Educación Química*, 30(1), 42-57. DOI: <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2019.1.67658>
- Galagovsky, L., Ospina Quintero, N. y Merino, G. (2017). La célula real vs. el modelo de célula: una tensión epistemológica con implicaciones didácticas. *Enseñanza de las Ciencias, Extra 2017*, 3873-3879. Recuperado de: <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/337567>
- García-Carmona, A. (2021). Prácticas no-epistémicas: ampliando la mirada en el enfoque didáctico basado en prácticas científicas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(1), 1108. DOI: [http://dx.doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2015.v12.i1.07](http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2015.v12.i1.07)
- Gómez, V. y Gavidia, V. (2015). Describir y dibujar en ciencias. La importancia del dibujo en las representaciones mentales del alumnado. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(3), 441-455. DOI: [http://dx.doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2015.v12.i3.04](http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2015.v12.i3.04)
- Grilli, J., Laxague, M. y Barboza, L. (2015). Dibujo, fotografía y Biología. Construir ciencia con y a partir de la imagen. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(1), 91-108. DOI: [http://dx.doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2015.v12.i1.07](http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2015.v12.i1.07)
- Kind, P.M., Kind, V., Hofstein, A. y Wilson, J. (2011). Peer argumentation in the School Science Laboratory. Exploring effects of task features. *International Journal of Science Education*, 33(18), 2527-2558. DOI: <https://doi.org/10.1080/09500693.2010.550952>
- López-Pérez, J.P. (2009). Microbiología básica en la Educación Secundaria Obligatoria: el lavado de las manos. *Revista Eureka de Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(2), 319-324. DOI: [http://dx.doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2009.v6.i2.12](http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2009.v6.i2.12)
- López-Pérez J.P. y Boronat-Gil R. (2018). *Prácticas de Microbiología básica en el laboratorio de Educación Secundaria*. Región de Murcia. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.11914/2343>
- Lucas, A.M. (1995) ¿Por qué utilizar el microscopio? *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 6, 89-92.
- Mengascini, A. (2006). Propuesta didáctica y dificultades para el aprendizaje de la organización celular. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(3), 485-495. DOI: [http://dx.doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2006.v3.i3.09](http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2006.v3.i3.09)
- Muñoz-Campos, V., Franco-Mariscal, A.J. y Blanco-Lopez, A. (2018). Modelos mentales de estudiantes de educación secundaria sobre la transformación de la leche en yogur. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(2), 2106. DOI: [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2018.v15.i2.2106](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i2.2106)
- Muñoz-Campos, V., Franco-Mariscal, A.J. y Blanco-López, A. (2020). Integración de prácticas científicas de argumentación, indagación y modelización en un contexto de la vida diaria. Valoración de estudiantes de secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 17(3), 3201. DOI: [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2020.v17.i3.3201](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2020.v17.i3.3201)

- Ospina Quintero, N. y Galagovsky, L. (2017). La célula modelizada: una reflexión necesaria en el ámbito de la enseñanza. *Química Viva*, 16(2), 41-63.
- Pôrto Marques, G. y Dutra da Rosa, R.T. (2015). Análisis de Actividades Prácticas Propuestas en Manuales Didácticos de Biología. *Revista de Educación en Biología*, 18(2), 20-30. Recuperado de: <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaadbia/article/view/22468>
- Tapia, F. y Arteaga, Y. (2012). Selección y manejo de ilustraciones para la enseñanza de la célula: Propuesta Didáctica. *Enseñanza de las Ciencias*, 30(3), 281-294. DOI: <https://doi.org/10.5565/rev/ec/v30n3.176>
- Verhoeff, R.P., Boersma, K.T. y Waarlo, A.J. (2008). Systems Modelling and the Development of Coherent Understanding of Cell Biology. *International Journal of Science Education*, 30(4), 543-568. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/09500690701237780>

**ANEXO I**

**Informe de la práctica de mitosis**

- Describe brevemente las fases de los protocolos que has seguido (Materiales y método), y comenta qué función cumplen para alcanzar el objetivo inmediato.

FASES	PROTOCOLO 1	PROTOCOLO 2	PARA QUÉ
MUESTRA (Puerro o Cebolla)			
FIJACIÓN			
ABLANDAMIENTO			
TINCIÓN			
SQUASH			
OBSERVACIÓN			

- Expón tus resultados (foto o dibujo). ¿Has encontrado células en mitosis? En caso afirmativo, ¿cuántas y en qué fase? Recuerda indicar qué protocolo has seguido.
- ¿Qué parte (o partes) del protocolo crees que han podido fallar? Reflexiona sobre si crees que ha sido debido a un fallo humano (no seguir adecuadamente las instrucciones), a los materiales, al propio protocolo (instrucciones poco claras) o a otros factores.

FASE	PROTOCOLO 1	PROTOCOLO 2
FIJACIÓN		
ABLANDAMIENTO		
TINCIÓN		
SQUASH		
OBSERVACIÓN		

- ¿Qué cambios introducirías para mejorar el experimento?
- En el protocolo no aparece la primera fase, la de la germinación de los bulbos. ¿Crees que es importante? Investiga un poco y encuentra factores que pueden influir en la cantidad de células en mitosis de las muestras.
- En la siguiente sesión práctica haremos un análisis global de los resultados. ¿Te apetece volver a repetir el experimento ahora que ya somos un poco más “expertos” en la materia?

## ANEXO II

### Formulario Post-experimento

\*Obligatorio

- 1) Nombre y Apellidos \*
- 2) ¿Qué muestra y protocolo has hecho? \* Selecciona todos los que correspondan.
  - o C1O (Cebolla, Protocolo 1 con Orceína)
  - o C1A (Cebolla, Protocolo 1 con Azul de Metileno)
  - o C2 (Cebolla, Protocolo 2)
  - o P1O (Puerro, Protocolo 1 con Orceína)
  - o P1A (Puerro, Protocolo 1, Azul de Metileno)
  - o P2 (Puerro, Protocolo 2)
- 3) ¿Crees que hubo algún problema en la fase de **CRECIMIENTO DE LAS RAÍCES**?
- 4) ¿Crees que hubo algún problema en la fase de **FIJACIÓN**?
- 5) ¿Crees que hubo algún problema en la fase de **ABLANDAMIENTO**?
- 6) ¿Crees que hubo algún problema en la fase de **TINCIÓN**?
- 7) ¿Crees que hubo algún problema en la fase de **OBSERVACIÓN**?
- 8) Sube una foto de tus resultados. \* Archivos enviados:
- 9) Evalúa si consideras satisfactorios tus resultados (teniendo en cuenta la parte del experimento para la que son o no satisfactorios). \*
- 10) A la luz de los resultados **TOTALES** (los de esta práctica y la anterior), ¿qué protocolo crees que es más viable para el contexto de la ciencia escolar? \* Marca solo una opción.
  - o P1 Azul de Metileno
  - o P1 Orceína
  - o P2
- 11) ¿Por qué?
- 12) ¿Cuál de las dos muestras crees que es más fácil de manipular? \* Marca solo una opción.
  - o Cebolla
  - o Puerro
- 13) ¿Por qué?
- 14) ¿Qué propuestas de mejora del experimento se te ocurren?
- 15) ¿Qué has aprendido en estas sesiones de prácticas? En general, sobre el método experimental, sobre la materia en cuestión...
- 16) ¿Te apetece repetir la práctica en junio? Marca solo una opción.
  - o SI
  - o NO
- 17) Si hay algo más que pienses sobre el experimento que no tenía cabida en las preguntas anteriores, este es el espacio para decirlo.

