

# Un ciclo de mejora docente para estudiar Evolución Molecular

## A cycle of teaching improvement to study Molecular Evolution

BIOLOGÍA

Silvia Jimeno González

<https://orcid.org/0000-0002-6223-9573>

Universidad de Sevilla. Centro Andaluz de Biología Molecular y Medicina Regenerativa. Departamento de Genética

Correo: [sjimeno@us.es](mailto:sjimeno@us.es)

**Resumen.** En asignaturas de genética, aprender a resolver problemas es esencial para fortalecer la integración de los conceptos que se imparten en las clases teóricas. De hecho, el modelo metodológico tradicional suele basarse en la exposición teórica en clase y la resolución de dichos problemas como trabajo para casa. En este capítulo, se describe el diseño y la aplicación de un ciclo de mejora en el aula para el tema de Evolución Molecular de la asignatura Genética Molecular del Grado de Biomedicina básica y experimental, que tiene como objetivo aumentar la participación del alumno en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Para ello, la resolución de problemas se intercala dentro de la dinámica de la clase, llevándose a cabo tanto de forma individual como en pequeños grupos. Por otro lado, algunas de las actividades inicialmente propuestas se han adaptado al resultado del cuestionario de ideas previas de los alumnos para poder construir sobre ellas o trabajar conceptos preconcebidos erróneos. Los resultados de las escaleras de aprendizaje muestran un incremento considerable en los conocimientos de los alumnos al término de la unidad didáctica. Por otro lado, la respuesta de los estudiantes ha sido ciertamente positiva, expresada tanto a nivel personal como en las calificaciones del examen parcial correspondiente.

**Abstract.** In subjects of Genetics, learning how to solve problems is essential to strengthen the integration of concepts taught in theoretical classes. However, the traditional methodological model tends to be based on the theoretical presentation in class and the resolution of problems as homework. Here, I describe the design and application of an improvement cycle in the classroom for the Molecular Evolution theme of Molecular Genetics subject of the Basic and Experimental Biomedicine Degree, which aims to increase the participation of the student in the teaching-learning process. Problem solving is proposed interspersed within the class dynamics, taking place both individually and in small groups. Furthermore, some of the initially proposed activities have been adapted to the results of the student's previous ideas questionnaire to build on them or work on erroneous preconceptions. The results of the learning stairs show a considerable increase in the knowledge of the students at the end of the didactic unit. In addition, both personal feedback and the grades in the corresponding midterm exam have been certainly positive.

**Palabras clave.** Genética molecular, Grado de Biomedicina básica y experimental, docencia universitaria, desarrollo profesional docente, innovación docente.

**Keywords.** Molecular Genetics, Basic and Experimental Biomedicine, university teaching, university teaching experimentation, teaching innovation.

## **Contexto**

El presente trabajo describe un Ciclo de Mejora en el Aula (CIMA) que se ha realizado con alumnos de la asignatura de Genética Molecular del curso primero del Grado de Biomedicina Básica y Experimental, en la Universidad de Sevilla. En esta asignatura participan dos profesoras, aunque la parte en la que se ha realizado el CIMA se imparte sólo por una de ellas. Gracias a esto, ha habido flexibilidad respecto a los contenidos a tratar en mayor o menor profundidad, puesto que no había necesidad de consensuar el examen. Es una asignatura con muchas actividades de evaluación continua como series de problemas, discusión de artículos, presentación de seminarios y tres pruebas escritas parciales. Debido a la situación actual de pandemia por COVID-19, las clases teóricas se llevan a cabo online y las prácticas (incluidas las prácticas en el aula) se desarrollan presencialmente. Sin embargo, durante el CIMA, se decide llevar a cabo las actividades prácticas online con idea de realizar trabajos en grupo, que no se podrían plantear presencialmente por las distancias de seguridad. Hay tres horas de clase a la semana que se distribuyen en una hora de clase (teórica) los martes y dos horas de clase (una teórica y una práctica) los jueves. El CIMA se aplica en el último tema de la asignatura, a finales del mes de mayo del curso 2020/2021. Por este motivo, el tiempo ha sido un factor altamente limitante.

Los alumnos que cursan la asignatura tienen una alta motivación y capacidad de trabajo puesto que la nota de acceso a este grado es muy elevada. Sin embargo, al ser alumnos de primero, su nivel de partida es bastante desigual, en parte por venir de diferentes centros de educación secundaria. Este año son 46 alumnos matriculados que forman un único grupo para las clases de teoría. La mayoría asiste a clase, aunque a final de curso puede haber una asistencia un poco más reducida.

El modelo metodológico tradicional es el de clase magistral, durante las dos horas de clase de teoría a la semana, y la puesta en común de problemas en la hora de clase práctica. El objeto de este trabajo es la implementación de un modelo metodológico más centrado en el alumno como protagonista (Postareff & Lindblom-Ylänne, 2008) mediante actividades prácticas que se realizan durante las clases teóricas. Además, se ha hecho una revisión profunda de los contenidos que se imparten en el tema para poder centrar la atención en aquéllos con una mayor relevancia (García, Porlán y Navarro, 2017). La evaluación no se ha modificado por motivos de adaptación al proyecto docente establecido.

## **Diseño previo del ciclo de mejora en el aula**

La innovación docente aborda el tema 8 del programa que trata sobre la Evolución Molecular y se ha planificado en 4 sesiones. En la primera, se realiza un cuestionario inicial para evaluar las ideas previas de los alumnos y establecer sus modelos mentales (Rivero y Porlán, 2017). En la segunda, se abordan las ventajas del uso de datos moleculares y los conceptos de tasa de evolución y reloj molecular con actividades de contraste. En la tercera, se lleva a cabo una actividad práctica de análisis de secuencias con herramientas bioinformáticas. Por último, en la cuarta, se aborda la inferencia

filogenética y los métodos para realizarla mediante la resolución de problemas en clase.

### *Modelo metodológico posible*

El modelo didáctico predominante en la enseñanza universitaria sigue siendo meramente transmisivo. Se intenta transmitir una gran cantidad de información de forma acumulativa y fragmentada, olvidando la visión epistemológica global y relativista del saber (De Alba y Porlán, 2017). El presente trabajo está enfocado a la elaboración e implementación de un modelo diferente, que presenta cambios metodológicos modestos pero relevantes, con la idea de incrementar la participación de los alumnos (Bain, 2004), a la vez que se abordan procedimientos intelectuales complejos como la generalización, la crítica o la transferencia.

Se propone un modelo metodológico (Figura 1) que funciona de forma similar en todas las sesiones. No obstante, dependiendo de las particularidades de cada una de ellas, se dedica más o menos tiempo a determinadas actividades. En general, se parte de una actividad corta introductoria en la que se lanzan preguntas para evaluar el nivel de partida de los alumnos y que se habitúen a participar con naturalidad durante la clase. En las sesiones sucesivas, se utiliza esta actividad también como repaso de los conceptos tratados con anterioridad. Después, de forma gradual, con estas preguntas se pasa a la exposición teórica, en la cual se siguen planteando preguntas a los alumnos para continuar la interacción con ellos. Posteriormente, se programan actividades de contraste diferentes en cada sesión. En una de ellas, se planifica una actividad de discusión en pequeños grupos acerca de las tasas de evolución molecular con una puesta en común posterior. En otra, se propone la resolución de un problema de inferencia filogenética en grupos. Además, se lleva a cabo una actividad práctica usando herramientas bioinformáticas para el análisis de secuencias. Por último, en cada sesión se hace una actividad corta de conclusión y de aclaración de dudas.

Se pretende introducir los cambios en la docencia de forma paulatina y madurada (Larkin, 2012), para que su implementación sea factible y se pueda mantener en el tiempo. Por ello, el modelo propuesto sigue teniendo una actividad central expositiva que facilite al alumno el abordaje de las actividades de contraste posteriores. El modelo metodológico posible debe ir evolucionando conforme el docente se va desarrollando, como una escalera con diversos peldaños cada uno con sus dificultades y obstáculos (De Alba y Porlán, 2017).

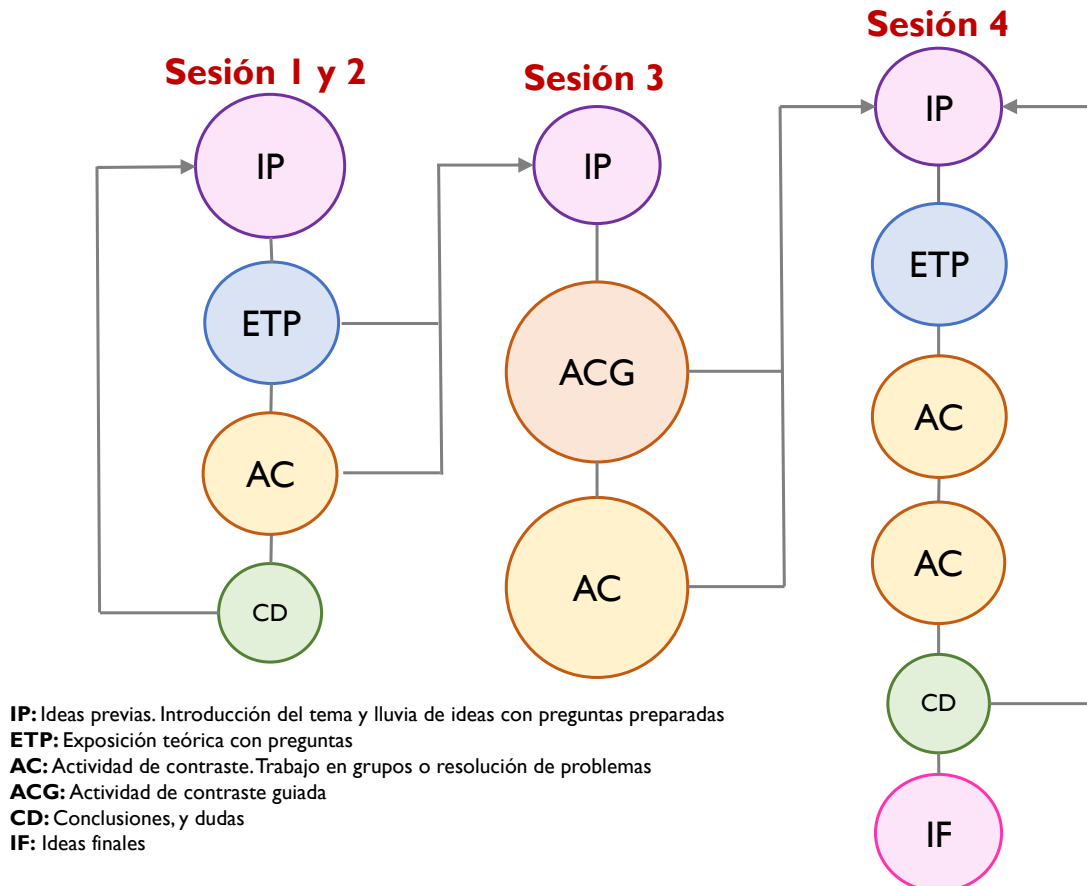


Figura 1. Modelo metodológico propuesto para el estudio de la Evolución Molecular

### Mapa de contenidos

La unidad se ha estructurado en forma de mapa de contenidos (Finkel, 2008) en el que los diferentes conceptos se relacionan a partir de cuatro preguntas-problema que dan sentido a las principales cuestiones a tratar (Figura 2). Las preguntas-problema que se han elegido para vertebrar el tema de Evolución Molecular son las siguientes:

- ¿Cómo se estima la relación evolutiva entre especies?
- ¿Qué ventajas tiene el uso de secuencias de DNA o de proteínas para estudiar la evolución?
- ¿Crees que la tasa de evolución de todos los genes de una especie es igual? ¿Por qué?
- ¿Mediante qué mecanismos evolucionan los genomas?

Estas preguntas son clave desde el punto de vista teórico porque dan pie a la discusión de los conceptos principales como la filogenia o la teoría del reloj molecular (Pierce, 2016). Pero es más importante aun el hecho de que permiten trabajar también el pensamiento crítico que es esencial en la formación de futuros científicos. Cada pregunta se afronta de forma investigativa con la idea de que los alumnos se enfrenten por sí mismos a los retos y las limitaciones que puede tener una teoría evolutiva. Además, este es un tema que permite introducir multitud de contenidos procedimentales. Un ejemplo es la generación de árboles filogenéticos partiendo de diferencias en determinadas secuencias entre especies. Esto se puede llevar a cabo tanto manualmente con el uso de matrices como con herramientas informáticas. Ambos aproximaciones serán usados en este CIMA.

Teniendo en cuenta lo anterior, los contenidos se han categorizado en 5 subtipos: conceptos, datos, procedimientos intelectuales, procedimientos psicomotrices y actitudes y valores (Parcerisa, 2005). El establecimiento de una categorización y de interrelaciones entre los contenidos en un mapa se utiliza en este trabajo como herramienta docente para la reflexión profunda acerca de los contenidos importantes en los que se desea profundizar descartando cuestiones más prescindibles (García, Porlán y Navarro, 2017).

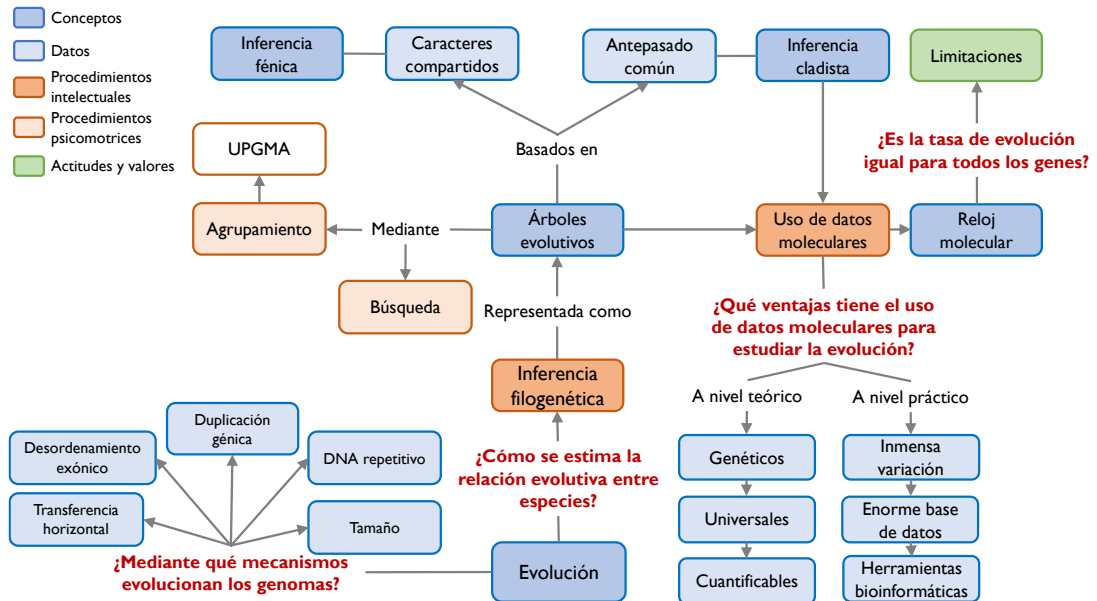


Figura 2. Mapa de contenidos para el tema Evolución Molecular de la asignatura Genética Molecular del Grado de Biomedicina

## Secuencia de actividades

Los mejores educadores piensan en la docencia como cualquier cosa capaz de ayudar y animar a los estudiantes a aprender (Bain, 2004). Tomando esta premisa como base, me he planteado las cuatro cuestiones clave que este autor propone en su trabajo:

- ¿Qué deberían los alumnos ser capaces de hacer intelectual, física y emocionalmente como resultado de mi aprendizaje?
- ¿Cómo puedo ayudarlos y animarlos de la mejor manera para que desarrollen esas habilidades y los hábitos mentales y emocionales para utilizarlas?
- ¿Cómo podemos mis estudiantes y yo entender mejor la naturaleza, la calidad y el progreso de su aprendizaje?
- ¿Cómo puedo evaluar mis intentos de fomentar ese aprendizaje?

Basándome en estas preguntas, he planificado una serie de actividades que, desde mi punto de vista, podrían ayudar a mejorar el entorno de aprendizaje (Tabla 1). Las actividades de contraste están orientadas a sacar el máximo partido del estudiante, dentro de las limitaciones de la enseñanza online. Se programan con la idea de que tengan que participar, discutir y preguntar durante su desarrollo. Además, el cuestionario final y las puestas en común se realizan con la intención de evaluar tanto su aprendizaje como el éxito de la experiencia docente.

Tabla 1. Secuencia de actividades

| <b>Sesión 1</b>   |   |  |                         |
|---|---|--|-------------------------|
| <b>Actividad N° 1</b>   | <b>Fase del Modelo</b><br>Ideas Previas | <b>Nombre de la Actividad</b><br>Cuestionario de ideas previas                 | <b>Tiempo</b><br>30 min |
| <p><b>Desarrollo de la actividad</b><br/>Se informa a los alumnos de que comienza un nuevo tema que trata sobre la evolución molecular. Se les facilita un cuestionario en Socrative con 5 preguntas clave del tema. Pueden contestar con un pseudónimo. Las preguntas son las siguientes:<br/>           ¿Cómo se estima la relación evolutiva entre especies?<br/>           ¿Qué representa un árbol filogenético?<br/>           ¿Qué ventajas tiene el uso de secuencias de DNA o de proteínas para estudiar la evolución?<br/>           ¿Crees que la tasa de evolución de todos los genes de una especie es igual? ¿Por qué?<br/>           ¿Mediante qué mecanismos evolucionan los genomas?</p> |   |  |                         |
| <b>Sesión 2</b>   |   |  |                         |
| <b>Actividad N° 2</b>   | <b>Fase del Modelo</b><br>Ideas Previas | <b>Nombre de la Actividad</b><br>Lluvia de ideas acerca de evolución molecular | <b>Tiempo</b><br>10 min |
| <p><b>Desarrollo de la actividad</b><br/>Se utilizan algunas de las preguntas que se hicieron en el cuestionario de ideas previas y se pregunta sobre ellas para generar debate.<br/>           ¿Cómo se estima la relación evolutiva entre especies?<br/>           ¿Qué métodos se emplean ahora y cuáles se usaban antes?</p>  |   |  |                         |

|   |  |  |                         |
|---|--|--|-------------------------|
| ¿Creeis que en la evolución todas las mutaciones que se fijan sirven para algo?   |  |  |                         |
| <b>Actividad Nº 3</b>   | <b>Fase del Modelo</b><br>Exposición teórica con preguntas | <b>Nombre de la Actividad</b><br>Introducción a la evolución molecular                                   | <b>Tiempo</b><br>20 min |
| <b>Desarrollo de la actividad</b><br>Se explican los siguientes conceptos:<br>-Las ventajas del uso de datos moleculares para estudiar la evolución<br>-La tasa de evolución molecular<br>-Se dejan cuestiones abiertas para que se discutan en la siguiente actividad  |  |  |                         |
| <b>Actividad Nº 4</b>   | <b>Fase del Modelo</b><br>Actividad de contraste           | <b>Nombre de la Actividad</b><br>Discusión en grupo sobre la tasa de evolución molecular                 | <b>Tiempo</b><br>25 min |
| <b>Desarrollo de la actividad</b><br>Se busca respuesta en grupos de 4-5 alumnos a 3 preguntas acerca de la tasa de evolución molecular (10 min).<br>-¿Crees que la tasa de evolución de todos los genes de una especie es igual? ¿Por qué?<br>-¿Y dentro de un gen? ¿Puede haber diferencias?<br>-¿Qué limitaciones puede tener el modelo de tasa molecular?<br>Después, los resultados se ponen en común con toda la clase (10 min).  |  |  |                         |
| <b>Actividad Nº 5</b>   | <b>Fase del Modelo</b><br>Conclusiones y dudas             | <b>Nombre de la Actividad</b><br>Conclusiones y dudas  | <b>Tiempo</b><br>5 min  |
| <b>Desarrollo de la actividad</b><br>Se hace un pequeño resumen de los conceptos tratados en la clase y se deja tiempo para resolver dudas  |  |  |                         |
| <b>Sesión 3</b>   |  |  |                         |
| <b>Actividad Nº 6</b>   | <b>Fase del Modelo</b><br>Ideas Previas                    | <b>Nombre de la Actividad</b><br>Lluvia de ideas sobre el uso de secuencias para inferencia filogenética | <b>Tiempo</b><br>10 min |
| <b>Desarrollo de la actividad</b><br>Se hacen preguntas para recordar los conceptos trabajados en la clase anterior. Además, se introducen cuestiones acerca del potencial de las herramientas informáticas que vamos a usar.<br>-Partiendo de una secuencia,<br>-¿Podemos conocer qué tipo de proteína codifica?<br>-¿Podemos inferir su actividad o función? ¿Podríamos saber a qué organismo pertenece?<br>-¿Se puede hacer un árbol filogenético?<br>-¿Se podrían sacar conclusiones acerca de su estructura tridimensional? ¿Y de los dominios de la proteína? |  |  |                         |

|   |  |   |                         |
|---|--|---|-------------------------|
| <b>Actividad N° 7</b>   | <b>Fase del Modelo</b><br>Actividad de contraste guiada    | <b>Nombre de la Actividad</b><br>Análisis informático de una secuencia problema | <b>Tiempo</b><br>50 min |
| <p><b>Desarrollo de la actividad</b><br/>Se parte de una secuencia de DNA y se les enseña cómo realizar diversos análisis para averiguar:<br/>-A qué organismo pertenece por homología de su secuencia<br/>-Qué tipo de proteína es, en base a los dominios que posee<br/>-Qué estructuras posee en 3D<br/>Se genera un árbol filogenético en base a la homología de su secuencia con otras de otros organismos<br/>Se hace una búsqueda bibliográfica en la base de datos Pubmed para averiguar más información acerca de la proteína problema</p> |  |   |                         |
| <b>Actividad N° 8</b>   | <b>Fase del Modelo</b><br>Actividad de contraste           | <b>Nombre de la Actividad</b><br>Análisis informático de una secuencia problema | <b>Tiempo</b><br>60 min |
| <p><b>Desarrollo de la actividad</b><br/>Se parte de una secuencia de DNA diferente a la de la actividad anterior y se deja tiempo para que los alumnos lleven a cabo el mismo análisis, pero de forma autónoma.<br/>De forma simultánea deben contestar a un cuestionario, que envían por correo electrónico</p>   |  |   |                         |
| <b>Sesión 4</b>   |  |   |                         |
| <b>Actividad N° 9</b>   | <b>Fase del Modelo</b><br>Ideas Previas                    | <b>Nombre de la Actividad</b><br>Lluvia de ideas sobre árboles filogenéticos    | <b>Tiempo</b><br>10 min |
| <p><b>Desarrollo de la actividad</b><br/>Se hacen preguntas para recordar los conceptos trabajados en las clases anteriores y acerca de los conceptos que se van a trabajar.<br/>¿Qué representa un árbol filogenético?<br/>¿Cómo se elaboran estos árboles?</p>  |  |   |                         |
| <b>Actividad N° 10</b>  | <b>Fase del Modelo</b><br>Exposición teórica con preguntas | <b>Nombre de la Actividad</b><br>Inferencia filogenética                        | <b>Tiempo</b><br>30 min |
| <p><b>Desarrollo de la actividad</b><br/>Se conecta esta actividad con la anterior siguiendo la exposición de preguntas acerca de la expresión génica, pero en este caso las respuestas se conectan con la exposición de la teoría.<br/>Se explican los siguientes conceptos:<br/>-Árboles filogenéticos<br/>-Tipos de inferencia filogenética: inferencia fenética o cladista<br/>-Técnicas de inferencia filogenética: UPGMA</p>  |  |   |                         |
| <b>Actividad N° 11</b>  | <b>Fase del Modelo</b><br>Actividad de contraste           | <b>Nombre de la Actividad</b><br>Resolución de problema con técnica UPGMA       | <b>Tiempo</b><br>45 min |



|   |   |   |                                  |
|---|---|---|----------------------------------|
| <p><b>Desarrollo de la actividad</b><br/> Se usan datos moleculares de diferencias entre genes para estimar su relación evolutiva con la técnica UPGMA. Los alumnos generan sus propios árboles filogenéticos a partir de los datos suministrados en matrices.<br/> La actividad se realiza en grupos, la profesora va cambiando de grupo para aclarar las dudas (30 min). Posteriormente hay una puesta en común de la resolución del problema (15 min).</p> |   |   |                                  |
| <p><b>Actividad N° 12</b></p>   | <p><b>Fase del Modelo</b><br/> Actividad de contraste</p> | <p><b>Nombre de la Actividad</b><br/> Resolución de problemas sobre evolución</p> | <p><b>Tiempo</b><br/> 30 min</p> |
| <p><b>Desarrollo de la actividad</b><br/> Se resuelve la serie de problemas que se les ha entregado previamente para su realización en casa. Consiste en 2 problemas relacionados con la construcción de relaciones evolutivas partiendo de datos moleculares concretos entre especies. Los alumnos resuelven los problemas y se los explican a los compañeros, incluidas las dudas que a ellos les surjan.</p>   |   |   |                                  |
| <p><b>Actividad N° 13</b></p>   | <p><b>Fase del Modelo</b><br/> Conclusiones y dudas</p>   | <p><b>Nombre de la Actividad</b><br/> Conclusiones y dudas</p>                    | <p><b>Tiempo</b><br/> 5 min</p>  |
| <p><b>Desarrollo de la actividad</b><br/> Se hace un pequeño resumen de los conceptos tratados en la clase y se deja tiempo para resolver dudas</p>   |   |   |                                  |
| <p><b>Actividad N° 14</b></p>   | <p><b>Fase del Modelo</b><br/> Conclusiones</p>           | <p><b>Nombre de la Actividad</b><br/> Cuestionario final</p>                      | <p><b>Tiempo</b><br/> 30 min</p> |
| <p><b>Desarrollo de la actividad</b><br/> Los alumnos responden al mismo cuestionario inicial por medio de Socrative utilizando el mismo pseudónimo.</p>  |   |   |                                  |

## Desarrollo del CIMA

El CIMA ha coincidido con el final del curso, en concreto, con el último tema de la asignatura. Por este motivo, no he tenido mucha flexibilidad en cuanto al tiempo que podía dedicarle. En la primera sesión, informo a los alumnos de que se va a realizar un ciclo de mejora docente que engloba todo el tema y que incluirá diversas actividades diferentes al desarrollo de las clases que se había hecho hasta ahora. Posteriormente, procedo con la actividad de ideas previas que consiste en responder a un cuestionario mediante la web Socrative. Los alumnos usan un pseudónimo para poder cotejar el resultado inicial y final de forma individual. Se les hace mucho hincapié en que no deben consultar ninguna pregunta puesto que el objetivo de la actividad es evaluar su progreso durante este ciclo de mejora. Al principio tienen algunos impedimentos técnicos, pero, una vez solventado este problema, la actividad se realiza tal y como se había programado.

La segunda sesión comienza con una actividad en la que se usan algunas de las ideas que los alumnos habían plasmado en el cuestionario para hacerles preguntas que sirvan como antesala a la exposición teórica. Según las respuestas del cuestionario inicial, algunos confundían conceptos básicos de genética como la deriva genética. Se dedican un par de minutos a tratar esta cuestión porque, aunque no es un tema de la unidad a desarrollar, es importante que no construyan sus conocimientos sobre conceptos erróneos. Después, se procede a la exposición teórica y a la actividad de discusión en grupo sobre tres preguntas. Esta actividad funciona muy bien, buscan información y comparten entre ellos lo que averiguan mientras voy pasando de un grupo a otro para resolver dudas. Posteriormente, se hace una puesta en común en la que participan mucho pero sólo nos tiempo a discutir las dos primeras preguntas. La actividad de conclusión programada no se puede hacer por este motivo.

En la tercera sesión, se lleva a cabo la práctica basada en análisis de secuencias con herramientas bioinformáticas. Comienzo con una actividad de ideas previas que me sirve para afianzar los conceptos que se habían trabajado en la sesión anterior. Las actividades posteriores de contraste guiada y autónoma funcionan bien en el tiempo estimado. Me sorprende que puedan llevar a cabo la parte autónoma sin apenas necesitar ayuda.

En la cuarta sesión, empieza la clase con la puesta en común de la última pregunta que se había dejado sin discutir de la sesión 2 que trataba sobre las limitaciones del reloj molecular. Esta actividad es interesante para reforzar el pensamiento crítico sobre las teorías científicas y, por tanto, tiene una parte de contenido actitudinal. Mi intención es que se vayan acercando a las limitaciones de la teoría del Reloj Molecular que propuso Francisco Ayala (Ayala, 1999) y, de hecho, algunos proponen ideas similares a las que postuló el citado investigador. Después de la exposición teórica, se les plantea un problema en el que hay que calcular las distancias entre especies a partir de una matriz que indica diferencias entre secuencias de un gen. Se forman grupos de 4 ó 5 alumnos para su resolución conjunta. Como al principio no saben cómo resolverlo, me muevo por los grupos para ir resolviendo dudas. Después se hace una puesta en común, en la que hay mucha participación y preguntas, pero por falta de tiempo no se puede terminar de resolver el problema, lo terminan ellos en casa y, al día siguiente, subo la solución a Enseñanza Virtual. Después, se procede a la corrección de la serie de problemas que se había subido a la plataforma dos días antes, siendo ellos los que actúan como profesores en la resolución. Al final, se da un tiempo para dudas. Por último, se procede con el cuestionario final usando el mismo

pseudónimo. Les pido que contesten con la máxima precisión y detalle para que se pueda valorar su progreso.

Para terminar y fuera de tiempo les pregunto por sus impresiones respecto al cambio metodológico. Los alumnos consideran que las actividades del CIMA les han resultado interesantes. Les gusta más resolver problemas y hacer actividades durante la clase que hacerlos en casa.

La implementación del CIMA ha funcionado bien en términos generales. Se han planificado actividades que, en su mayoría, han podido realizarse en el tiempo estimado y que han resultado útiles para el alumno. El feedback recibido también ha sido positivo. Además, es importante señalar que las calificaciones de la prueba escrita que ha contado con este tema han subido considerablemente respecto a pruebas anteriores.

Hay varias cuestiones que han resultado de especial utilidad en el CIMA planteado. En primer lugar, generar un mapa de contenidos y lo que supone respecto a categorizar y eliminar materia poco útil para el aprendizaje. Sería interesante profundizar en este trabajo de reflexión en el resto de la asignatura de cara a próximos años. En segundo lugar, es de vital importancia hacer unas clases en las que se fomente la participación de los alumnos. Partir de las ideas previas en cada clase ha servido para conectar mejor con el alumnado y para construir sobre su conocimiento. Por otro lado, de cara al futuro, se van a planificar más problemas para realizar de forma presencial en la clase y menos para llevar a casa. De esta forma, puedo asegurarme de que los trabajan y discuten con otros compañeros. Respecto a la evaluación, de cara al futuro se valora una simplificación, puesto que en la asignatura se otorgan puntos por cada actividad y esto tiene como consecuencia que muchos alumnos copien de páginas web y de otros compañeros movidos por el afán de conseguirlos. Sería interesante buscar una fórmula intermedia sin dejar de lado la evaluación continua.

## **Evaluación del CIMA**

### *Escaleras de aprendizaje*

Aunque para sacar conclusiones acerca del éxito de la innovación docente habría que hacer estudios comparativos con otras metodologías, el análisis de los cuestionarios inicial y final puede servir para evaluar el progreso de los alumnos tras la experiencia. Reflexionar sobre las respuestas iniciales y finales, puede arrojar luz acerca de los posibles obstáculos que presentan los alumnos y que les dificultan el aprendizaje (Rivero y Porlán, 2017). Para proceder a este análisis, se han categorizado las ideas previas de los alumnos y se han jerarquizado en función de su nivel de complejidad y acierto. Después, se han cuantificado las respuestas en forma de porcentaje. Este procedimiento se ha repetido con el cuestionario final.

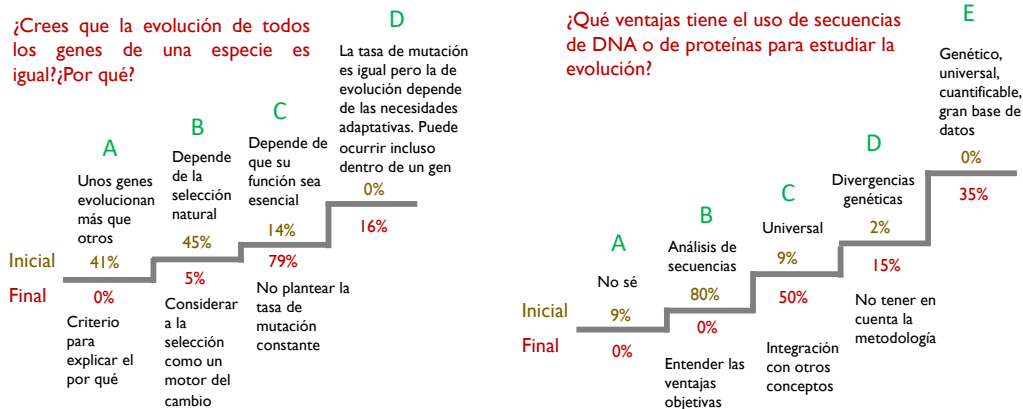


Figura 3. Resultados de los cuestionarios inicial y final para dos de las preguntas formuladas, representados como escaleras de aprendizaje. Las respuestas se han agrupado en categorías (A-E) en función de su complejidad. Los porcentajes iniciales se representan en marrón y los finales en rojo.

La comparación de las respuestas iniciales y finales a nivel cualitativo muestra un claro incremento en cuanto a la precisión y a la utilización del lenguaje específico y de las teorías evolutivas que hemos trabajado en clase en todas las preguntas. En la Figura 3 se muestran los resultados cuantitativos de dos de las preguntas formuladas. Para la pregunta “¿Crees que la evolución de todos los genes de una especie es igual? ¿Por qué?”, el 80% de los alumnos se encontraba en los dos niveles más bajos antes de empezar el CIMA (Figura 3, izquierda). Sin embargo, después de terminar el tema, el 95% de ellos se encontraba en los dos niveles más elevados. Conclusiones similares se pueden extraer al analizar la progresión individual de los alumnos. Para esta pregunta, 8 de cada 10 alumnos elevan su conocimiento al menos un nivel en la escalera, 6 de los cuales incluso suben dos escalones (Tabla 2). Sólo dos alumnos de cada 10 no incrementan su conocimiento en esta pregunta. Es importante para mí que la gran mayoría haya pasado a entender que el motor de la evolución son las mutaciones y no la selección natural (algo que resultaba un obstáculo al inicio del tema), y que ese motor es generalmente constante, aunque la fijación de mutaciones sí dependa de la selección.

En la pregunta “¿Qué ventajas tiene el uso de secuencias de DNA o de proteínas para estudiar la evolución?” hay una progresión similar (Figura 3, derecha). El 89% de los alumnos no era capaz al principio de formular ninguna ventaja más que el hecho de que las secuencias se pueden analizar. Sin embargo, tras el CIMA, la mayoría entiende que el uso de secuencias presenta numerosas ventajas, desde la universalidad hasta la posibilidad de cuantificación o la facilidad del uso de bases de datos y de herramientas bioinformáticas.

En general, los resultados indican que los alumnos han conseguido aumentar su conocimiento después del ciclo de mejora y que han podido superar muchos obstáculos presentes en sus modelos mentales.

Tabla 2. Progresión individual a la pregunta: ¿Crees que la evolución de todos los genes de una especie es igual? ¿Por qué?

|          | Respuesta inicial | Respuesta final | Progresión |
|----------|-------------------|-----------------|------------|
| Alumno 1 | B                 | B               | ↔          |
| Alumno 2 | B                 | D               | ↑↑         |
| Alumno 3 | A                 | C               | ↑↑         |

|           |   |   |    |
|-----------|---|---|----|
| Alumno 4  | A | C | ↑↑ |
| Alumno 5  | B | C | ↑  |
| Alumno 6  | A | C | ↑↑ |
| Alumno 7  | B | D | ↑↑ |
| Alumno 8  | B | D | ↑↑ |
| Alumno 9  | B | B | ↔  |
| Alumno 10 | C | D | ↑  |

### *Conclusiones basadas en los principios didácticos*

El presente trabajo relata una experiencia de mejora docente que se fundamenta en los principios didácticos que se han abordado en el curso general de docencia universitaria. La experiencia del curso y de la aplicación de dos ciclos de mejora me ha llevado a evaluar de forma extensa mi práctica docente identificando las cuestiones importantes a tener en cuenta para mejorarla:

- En primer lugar, es importante hacer una reflexión profunda acerca de los contenidos que queremos que los alumnos aprendan. En este sentido, debemos buscar los contenidos vertebradores a partir de los cuales se integra el resto de las cuestiones. Para ello, es de gran utilidad la elaboración de un mapa de contenidos que englobe tanto las interrelaciones de los contenidos como su categoría.
- Los contenidos vertebradores se pueden plantear como preguntas-problema que den sentido la unidad. Estas preguntas pueden servir para contextualizar los contenidos dentro de situaciones que al alumno le resulten cercanas y, de esta forma, facilitar el aprendizaje desde un punto de vista constructivista.
- Conocer los modelos mentales de los estudiantes es un trabajo que nos puede facilitar mucho el planteamiento de las actividades puesto que nos permite identificar, no solo el nivel de partida que tienen sino los obstáculos que les impiden avanzar en el conocimiento. El uso de cuestionarios con preguntas directas, de respuesta abierta, concretas y prácticas para que puedan expresar sus ideas es una herramienta útil en este sentido. Estos cuestionarios deberían basarse en las preguntas-problema.
- Probar diferentes metodologías para activar la motivación intrínseca del alumno. Para ello, se deben planificar actividades de contraste en las que el estudiante tenga un rol activo y participativo. Como no todos los alumnos son iguales, la planificación debe ser diversa en cuanto a abordajes (individual, en grupo, utilizando nuevas tecnologías...). Es importante aprovechar la presencialidad en la clase para realizar las actividades más relevantes, puesto que en casa se encuentran con más distracciones y no tienen la posibilidad de interactuar tanto con el profesor o con los compañeros.
- Evaluar el aprendizaje de los alumnos y la propia práctica docente para identificar las fortalezas y debilidades del modelo metodológico propuesto. Una herramienta útil para esta evaluación es la comparación del cuestionario inicial con uno final. Una forma muy gráfica de representar estos resultados es la escalera de aprendizaje que sirve para plasmar tanto las ideas previas como el progreso de los alumnos y los obstáculos que encuentran en el camino.

### **Referencias bibliográficas**

Ayala, F.J. (1999). "Molecular clock mirages". *BioEssays*, 21(1), 71–75.

- Bain, K. (2004). *Lo que hacen los mejores profesores universitarios*. Valencia: Publicaciones Universidad de Valencia.
- De Alba, N. y Porlán, R. (2017). La metodología de enseñanza. En R. Porlán (Coord.), *Enseñanza universitaria. Cómo mejorarla* (pp. 37-54). Madrid: Morata. España: Morata.
- Finkel, D. (2008). *Dar clase con la boca cerrada*. Valencia: Publicaciones de la Universidad de Valencia.
- García-Díaz, E., Porlán, R. y Navarro, E. (2017). Los fines y los contenidos de enseñanza. En R. Porlán (Coord.), *Enseñanza Universitaria. Cómo mejorarla* (pp. 55-72). Madrid,
- Larkin, D. (2012). Misconceptions About «Misconceptions»: Preservice Secondary Science Teachers' Views on the Value and Role of Student Ideas. *Science teacher education*, 96(15), 927-959.
- Parcerisa, A. (Coord.) (2005) *Materiales para la docencia universitaria: orientaciones para elaborarlos y mejorarlos*. Barcelona: Octaedro.
- Pierce, B. (2016). *Genética, un enfoque conceptual*. Madrid: Editorial Médica Panamericana, S.A.
- Postareff, L., & Lindblom-Ylänne, S. (2008). Variation in teachers' descriptions of teaching: Broadening the understanding of teaching in higher education. *Learning and Instruction*, 18, 109-120. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2007.01.008>
- Rivero, A. y Porlán, R. (2017). La evaluación en la enseñanza universitaria. En R. Porlán (Coord.), *Enseñanza Universitaria. Cómo mejorarla* (pp. 73-91). Madrid, España: Morata.