



Revista Eureka sobre Enseñanza y  
Divulgación de las Ciencias

E-ISSN: 1697-011X

[revista@apac-eureka.org](mailto:revista@apac-eureka.org)

Asociación de Profesores Amigos de la  
Ciencia: EUREKA  
España

Garófalo, Sofía Judith; Chemes, Lucía B.; Alonso, Manuel  
Propuesta didáctica de enseñanza con simulaciones para estudiantes del profesorado en  
Ciencias Biológicas  
Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, vol. 13, núm. 2, abril,  
2016, pp. 359-372  
Asociación de Profesores Amigos de la Ciencia: EUREKA  
Cádiz, España

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92044744009>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica  
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

# Propuesta didáctica de enseñanza con simulaciones para estudiantes del profesorado en Ciencias Biológicas

Sofía Judith Garófalo <sup>1a</sup>, Lucía B. Chemes <sup>2-3</sup>, Manuel Alonso <sup>1b</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ciencias Biológicas, Ciclo Básico Común, Universidad de Buenos Aires, Ciudad de Buenos Aires, República Argentina. <sup>a</sup> [sjgarofalo@gmail.com](mailto:sjgarofalo@gmail.com), <sup>b</sup> [malonso@cbc.uba.ar](mailto:malonso@cbc.uba.ar)

<sup>2</sup> Fundación Instituto Leloir e IIBBA-CONICET, <sup>3</sup> Departamento de Fisiología y Biología Molecular, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Ciudad de Buenos Aires, República Argentina. [lcbemes@leloir.org.ar](mailto:lcbemes@leloir.org.ar)

[Recibido en marzo de 2015, aceptado en enero de 2016]

El objetivo del presente trabajo consistió en desarrollar una propuesta didáctica para la enseñanza con simulaciones (PDES) y analizar las condiciones y momentos didácticos que acompañan su implementación con estudiantes del profesorado en Ciencias Biológicas. De esta forma, se pretende favorecer el aprendizaje del contenido disciplinar y de su didáctica, así como la adquisición de autonomía en el uso del recurso tecnológico de los futuros profesores. Se utilizó la simulación Forensic EA Lite, *software* diseñado para el abordaje de contenidos de evolución molecular, una de las unidades del programa de la asignatura Genética Molecular en la que se puso en práctica la PDES. La PDES se diseñó, se implementó, se fue ajustando desde la práctica y resultó, finalmente, en los siguientes momentos didácticos: presentación, exploración del programa y apropiación del vocabulario específico, articulación entre la simulación y el contenido disciplinar, actividades de correlación, momento de metacognición y momento de transferencia de contenido (actividades de aplicación). Se evaluaron las dificultades y los beneficios de la propuesta para el aprendizaje del tema, la adquisición de autonomía con el recurso tecnológico y los aportes para la formación docente. La elaboración y ajuste de la PDES se focalizó tanto en las decisiones didácticas tomadas por el docente para el diseño y puesta en el aula de una propuesta didáctica con la simulación utilizada, como en las demandas de los estudiantes, en un proceso de permanente retroalimentación. La PDES resultó facilitadora del aprendizaje de las bases moleculares de la evolución, logró generar autonomía en los estudiantes para la utilización del recurso tecnológico y aportó una forma de intervención didáctica de enseñanza con simulaciones en marcos teóricos constructivistas para la práctica de los docentes de biología en formación.

**Palabras clave:** propuesta didáctica; simulaciones; evolución molecular; profesorado; TIC

## Didactic proposal for teaching with simulations for students of professorate in Biological Sciences

The aim of this study was to develop a didactic proposal for teaching with simulations (DPTS) and analyze the conditions and didactic moments that accompany its implementation for students of the professorate in Biological Sciences. Thus, it is intended to facilitate the learning of disciplinary content and its didactics, and the acquisition of autonomy in the use of technological resources by future professors. The Forensic EA Lite simulation, a software designed for addressing contents of molecular evolution, was used. Molecular evolution is one of the program units of the subject "Molecular Genetics" in which this proposal was carried out. DPTS was designed, implemented, adjusted through practice and finally resulted in the following didactic moments: presentation, program exploration and appropriation of specific vocabulary, articulation between simulation and disciplinary content, correlation activities, time for metacognition and time for content transfer (enforcement activities). Difficulties and benefits of the proposal for learning the subject, acquisition of autonomy with the technological resource and contributions for teacher training were evaluated. The development and adjustment of the proposal were focused on both didactic decisions made by the teacher to design and put into practice a didactic sequence of the simulation used and on the learning demands of students, in a process of continuous feedback. The proposal facilitated learning of the molecular basis of evolution, made the students exercise autonomy when using technological resources, and provided a form of didactic intervention to teach with simulations in theoretical constructivist frameworks for the practice teachers in training in biology.

**Key words:** didactic proposal; simulations; molecular evolution; professorate; ICT

---

**Para citar este artículo:** Garófalo, S.J., Chemes, L.B., Alonso, M. (2016) Propuesta didáctica de enseñanza con simulaciones para estudiantes del profesorado en Ciencias Biológicas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13 (2), 359-372. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/18293>

---

## Introducción

Diversas investigaciones alertan acerca de las dificultades que encuentran los docentes de distintos niveles educativos en incorporar las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) a sus secuencias didácticas (Coll, Onrubia y Mauri, 2007; López y Morcillo, 2007; Picitelli, 2009; Gómez, Cañas, Gutiérrez y Martín, 2014). Area (2011) destaca que no se trata de hacer las mismas prácticas ahora con TIC, sino que sólo podrá haber transformación si el docente se constituye en un mediador cultural que planifica y organiza nuevas situaciones de enseñanza. Sin duda, la utilización de tecnologías integradas a la enseñanza de contenidos representa un desafío didáctico para el docente, quien deberá transformar sus prácticas de forma tal que le permita crear nuevos conflictos, sembrar dudas, e incertidumbres que provoquen curiosidad intelectual en los estudiantes (Bosco, 2008). Se hace, pues, necesario utilizar nuevos modelos didácticos que desafíen genuinamente concepciones y rutinas profesionales (Fernández, Gil, Carrascosa, Cachapuz y Praia, 2003; Carrascosa, Martínez, Furió y Guisasola, 2008).

En tal sentido, si bien las simulaciones no son un sustituto de la observación y la experimentación de fenómenos reales, constituyen un modelo para facilitar la interpretación de tales fenómenos. Son, por tanto, un estratégico recurso que permite añadir una nueva dimensión válida para la indagación y la comprensión de la ciencia, que facilitan la integración de contenidos (López y Morcillo, 2007) y la exploración y construcción de modelos (Talanquer, 2014). Precisamente, tal integración muchas veces queda supeditada al tiempo disponible, y la imposibilidad de llevarla a cabo se convierte en una dificultad para que el estudiante encuentre sentido a lo enseñado (Perkins, 2010). Es parte del reto actual generar nuevos ritmos y espacios en la educación, y la formación del profesorado resulta un lugar estratégico para comenzar a crear entornos de aprendizaje más efectivos, atractivos y centrados en el alumnado.

Ante este contexto, el objetivo del presente trabajo consistió en desarrollar una propuesta didáctica de enseñanza con simulaciones (PDES) y analizar las condiciones y momentos que acompañan su implementación con estudiantes de profesorado en Ciencias Biológicas. De esta forma, se pretendió favorecer el aprendizaje del contenido disciplinar y de su didáctica, así como la adquisición de autonomía en el uso del recurso tecnológico de los futuros profesores.

Diversas investigaciones en didáctica de las ciencias indican que la genética presenta importantes dificultades para su enseñanza y aprendizaje (Caballero, 2008; Íñiguez y Puigcerver, 2013). Los contenidos de genética molecular (Rotbain, Marbach-Ad y Stavy, 2006) y los vinculados con evolución molecular (Shumate y Windsor, 2010; Hubler, Adams, Scammell, 2015) no están exentos de tales dificultades. Por ello, la temática seleccionada para esta PDES se focalizó en las bases moleculares de la evolución biológica.

Teniendo en cuenta que una simulación permite representar determinados componentes y sucesos de la realidad que son complejos, su utilización, en este aspecto, se asemeja al uso de analogías. Por tal motivo, en la PDES se propuso trabajar con un software en situación analógica, que incluye algunos de los momentos del modelo didáctico analógico (Galagovsky y Adúriz Bravo, 2001; Garófalo y Galagovsky, 2005; Galagovsky y Greco, 2009). Este modelo distingue entre información analógica, información científica y las correlaciones entre ellas (Galagovsky y Adúriz Bravo, 2001). No obstante, al tratarse de la utilización de un software se incluyeron nuevas instancias.

En la elaboración de la PDES, se focalizó tanto en las decisiones didácticas tomadas por el docente para el diseño y puesta en el aula de la simulación, como en las demandas de aprendizaje de los estudiantes. De este modo, el contenido disciplinar, el recurso tecnológico y las estrategias de enseñanza se integraron y retroalimentaron permanentemente durante el desarrollo del trabajo que plantea la propuesta.

## Metodología

En este trabajo, se presenta el caso de la implementación de la simulación Forensic EA Lite (Herron, 2002) en el marco de la PDES diseñada. La misma se llevó a cabo en la asignatura Genética Molecular, perteneciente al último año del Profesorado de Biología del Instituto Superior de Formación Docente N° 174, "Rosario Vera Peñaloza". La asignatura se desarrolla con clases presenciales de tres horas por semana, y el estudio se efectuó durante tres semanas del segundo semestre de 2012 y de 2013, con 22 y 20 estudiantes respectivamente, y con la misma docente. Para el análisis de resultados se consideraron ambas cohortes.

La presente investigación se encuadra en la perspectiva cualitativa, de carácter descriptivo, tendiente a caracterizar, comprender e interpretar la complejidad de los procesos socio-educativos en torno a la implementación de un recurso tecnológico. Se evaluaron las dificultades y los beneficios de la propuesta para el aprendizaje del tema, de su didáctica y de la autonomía del recurso tecnológico. Para ello, las clases fueron grabadas y luego transcritas; se analizaron las actividades desarrolladas por los estudiantes y se les tomaron encuestas escritas, luego del desarrollo de la propuesta didáctica (Anexo). Asimismo, en los dos años, la docente registró de manera escrita, a modo de "diario del profesor" (Porlan y Martín, 1991), sus reflexiones y percepciones, y los ajustes que consideró pertinentes durante la implementación. Éste registro también se utilizó como fuente de datos empíricos. El proceso de análisis de los resultados se sustentó en el método de comparación constante (Strauss y Corbin, 2002) a través del cual se extraen categorías emergentes de la información empírica recabada, sin perder de vista el contexto en el que se producen. Finalmente se hizo una triangulación de los resultados obtenidos (Denzin, 1970) de los distintos instrumentos de recolección de datos.

## Resultados

### La propuesta didáctica y su implementación

De acuerdo con Area (2011), en la utilización de un recurso tecnológico, las instancias didácticas, indispensables en el proceso de enseñanza, deben conjugarse con los contenidos disciplinares y ser acompañadas por actividades. Una propuesta para la enseñanza con una simulación debe contemplar estos requisitos, a los que deben sumarse actividades para lograr el apropiado manejo del software que, de otra forma, se convertiría en obstaculizador en lugar de facilitador del aprendizaje. Teniendo en cuenta estas consideraciones, la PDES se diseñó, se implementó, se fue ajustando desde la práctica y resultó, finalmente, en los siguientes momentos didácticos:

*a) Presentación.* El objetivo de esta instancia consiste en describir la propuesta y los conceptos clave del contenido disciplinar a abordar, así como revisar los contenidos previos necesarios. En este espacio, el docente manifiesta las razones por las cuales decidió utilizar la simulación y encuadrar la misma como una analogía. Por consiguiente, se hizo explícito a los estudiantes una breve descripción de la simulación Forensic EA Lite (Herron, 2002).

El programa simula la infección de individuos con partículas virales, que presentan determinadas secuencias nucleotídicas representadas como secuencias de letras A, U, G, C. Se contextualizó el mismo con un estudio de caso que involucra al virus de la inmunodeficiencia

humana (HIV). Estos virus replican su material genético y mutan dentro del individuo. Se representa, de este modo, cómo se genera la diversidad genética en las poblaciones virales. La simulación, a su vez, incluye como factor de presión de selección al sistema inmune del huésped y el operador puede seleccionar entre cambios genómicos beneficiosos, deletéreos o neutros. En la actividad presentada como ejemplo, se optó por utilizar sólo mutaciones beneficiosas.

También en esta instancia se retomaron temas previos enseñados en la asignatura Evolución, haciendo hincapié en que se profundizaría en las bases moleculares que explican el proceso evolutivo y el concepto de selección natural.

b) *Exploración del programa y apropiación del vocabulario específico.* Este momento didáctico tiene como finalidad que los estudiantes se apropien del programa y adquieran autonomía. Se consideró oportuno generar actividades que permitieran explorar el programa, referidas a aspectos operativos. Estas actividades se presentaron en forma de un tutorial escrito —adaptadas del tutorial original (Herron, 2002)— que fue entregado a los estudiantes.

Se había previsto que el trabajo con los ordenadores debía ser individual, con la modalidad 1:1 (un ordenador por estudiante). Sin embargo, durante la implementación, la profesora decidió modificar esta condición dado que algunos alumnos solicitaron trabajar en parejas, expresando planteamientos tales como: “(...) tenemos “inseguridad” de utilizar el ordenador solos, ¿podemos trabajar cada uno con el suyo pero de a dos?”. Cabe mencionar que los estudiantes no habían trabajado nunca en el aula con programas en situación 1:1 (salvo la navegación por Internet), pese a que el 80% ya contaba con experiencia docente.

En ambas cohortes, surgió el siguiente comentario generalizado: “...lo que no quiero es que al no saber usar el programa no pueda entender nada de genética...”. Este tipo de comentarios dio cuenta acerca de la inseguridad y preocupación con la que los estudiantes se enfrentaban al trabajo con la simulación. Este contexto acentúa la importancia de lograr en los estudiantes la autonomía buscada en este momento didáctico.

Asimismo, surgió la importancia de trabajar con la proyección de la imagen del monitor a medida que se avanzaba con las distintas pantallas del software. Esta acción facilitó no sólo el seguimiento y explicación de las sentencias ejecutables, sino también que se retomaran fácilmente las actividades.

Por otra parte, el tutorial escrito utilizado, que se incluyó junto con las actividades, se convirtió en un recurso que agilizó y facilitó la enseñanza con el entorno tecnológico.

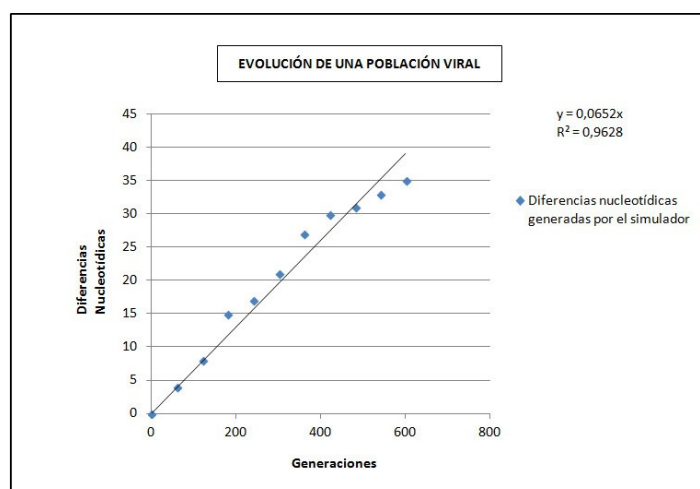
Ni bien los estudiantes se familiarizaron con el programa, comenzaron a consultar los aspectos relacionados con el contenido disciplinar y se establecieron espontáneamente demandas para vincular el uso del recurso con el contenido. Algunas de las intervenciones de los estudiantes que dan cuenta de ello fueron: “(...) esto lo puedo hacer pero ahora no sé bien cómo se relaciona con lo que estamos viendo...”, “...no sé para qué dejo pasar 60 generaciones, hago lo que dice el programa pero ahora necesito tiempo para pensar qué significa...”.

c) *Articulación entre la simulación y el contenido disciplinar.* El propósito de este momento didáctico es la vinculación entre la simulación y el contenido disciplinar. Con tal fin, se proponen actividades a desarrollar con la simulación en las que los estudiantes se enfrentan con el desafío de transferir y relacionar los conocimientos específicos de la disciplina. Queda a criterio del docente orientar, en esta instancia, con la búsqueda de información para ampliar el tema, o utilizar otros programas operativos (por ejemplo una planilla de cálculo). El cierre de este momento de articulación se realiza a través de una puesta en común.

En las dos cohortes en que se implementó la PDES, se efectuaron las siguientes actividades:

### Actividad 1

Se propuso correr el programa de modo que el virus se replique en un individuo un número determinado de generaciones. Como consecuencia de este proceso de reproducción, el programa generó mutaciones aleatorias en la secuencia del genoma del virus. Tales mutaciones quedaron representadas por cambios acumulados en secuencias nucleotídicas en una nueva pantalla. A partir de comparar estas secuencias con la original, los estudiantes construyeron un gráfico que muestra el número de diferencias nucleotídicas (mutaciones) acumuladas, en función del número de generaciones transcurridas (Figura 1). Una vez confeccionado el gráfico, se propuso su análisis, para lo cual el docente introdujo el concepto de "reloj molecular", que permite estimar —a partir del cálculo de la tasa de mutaciones—, el tiempo de divergencia de secuencias ancestrales (Brown, 2007).



**Figura 1.** Ejemplo de simulación de la tasa de mutación viral (expresada en diferencias nucleotídicas) a lo largo de 600 generaciones de virus. El gráfico fue confeccionado a partir de los valores arrojados al correr la simulación. La fórmula en la parte superior del gráfico representa la ecuación de la recta, cuya pendiente estima la tasa de mutación del virus.

### Actividad 2

Se planteó a los estudiantes que respondieran individualmente y por escrito una serie de preguntas (Cuadro 1) acerca del comportamiento de la población viral.

El objetivo de este momento didáctico fue utilizar los datos obtenidos con la simulación, como andamiaje para resignificar y comprender las bases moleculares del proceso biológico de evolución molecular.

Durante la implementación, siempre se destinó tiempo para que los estudiantes interactuaran y revisaran sus apuntes. Luego se realizó la puesta en común. La docente limitó su intervención a guiar los aportes que cada estudiante hacía a la clase al responder las preguntas. Al realizar la actividad, hubo preguntas de los alumnos que daban cuenta de que se había establecido un compromiso con la resolución del tema:

*“Para hacer el gráfico estamos teniendo en cuenta la diferencia de un solo virus, pero deberíamos hacer un promedio de, por lo menos 10 ¿no? ¿Y usar estos promedios como datos para graficar?”*

*“¿Podemos usar la planilla de cálculo y hacer bien el gráfico a ver qué da, o a qué función se aproxima?”*

*“Si comienzo diferentes veces y pongo todo en un mismo gráfico veo el comportamiento de distintos virus en diferentes individuos”, “El gráfico representa la evolución viral porque me muestra cómo fueron cambiando los virus a medida que pasa el tiempo, ¿no?”*

**Cuadro 1.** Cuestionario acerca del comportamiento biológico de la población viral a partir de la infección de un huésped (los estudiantes realizaron un gráfico similar al de la Figura 1).

- a- De acuerdo a los datos obtenidos con la simulación, ¿qué ocurre a medida que pasan las sucesivas generaciones virales? ¿Cómo se puede comprobar?  
Se pretende que los estudiantes trabajen con el concepto de mutación a través de la analogía propuesta en la simulación. Se introduce el concepto de reloj molecular.
- b- ¿Qué indicaría la pendiente del gráfico? ¿Qué significaría que diferentes virus o que un mismo virus en diferentes "ambientes" presenten diferentes pendientes?  
Se pretende que los estudiantes tengan presente la existencia de diferentes tasas evolutivas.
- c- En un individuo, ¿cómo supones que evolucionarán las poblaciones virales? ¿Habrá alguna diferencia con lo que ocurre en la simulación?  
Se pretende introducir el concepto de presión de selección, que en este caso estaría representado por el sistema inmune del paciente. La simulación utiliza una presión de selección constante, lo cual puede diferir de la realidad.
- d- Para conocer el tiempo transcurrido desde que se contagió un paciente se toma una muestra de sangre. ¿Podría inferir cuán lejos en el tiempo se contagió? ¿Qué dato se necesita contar para responder?  
Deberán contar con la secuencia ancestral del virus que infectó al paciente. Con este dato, y el gráfico que representa el reloj molecular, pueden determinar el tiempo transcurrido desde el contagio.
- e- ¿Que sucederá con la población viral en un nuevo individuo, cuando el paciente original lo infecte?  
En esta respuesta los estudiantes deberían inferir que el virus seguirá mutando.

d) *Actividades de correlación.* Para este momento, el docente elabora una tabla de correlación (TC). Para ello, propone un listado de los componentes (íconos, ventanas, escenarios, fuentes de datos, etc.) y acciones clave del programa, y solicita a los estudiantes que los relacionen con los conceptos y procesos biológicos enseñados. Estos últimos serán los conceptos "sostén" para un aprendizaje significativo y sustentable (Galagovsky, 2004). Los estudiantes trabajan con la TC y comparan los significados y sentidos de la información científica con los significados de la información analógica provista por la simulación (Garófalo y Galagovsky, 2005).

Durante la clase, se hizo explícita la importancia didáctica de consensuar la correlación que estaba siendo utilizada. Al iniciar la actividad, surgieron dudas acerca de qué implicaba correlacionar; por tanto, la docente debió dar un ejemplo completando alguna fila de la tabla como punto de partida. Asimismo, la docente propuso a los estudiantes que pensarán qué aspectos del programa, para ellos, no estaban recreados correctamente o, directamente, no fueron tenidos en cuenta, considerando las bases moleculares del proceso evolutivo ahora ya conocidas. De esta forma, se generó un listado de las distintas limitaciones que luego fueron puestas en común. A continuación se transcriben algunas de las respuestas que surgieron: "(...) *están representados los virus como círculos perfectos de colores y no son realmente así*", "*todos los individuos (cuadrados) son iguales, sin embargo cada uno es diferente con distinto sistema inmune, etc.*"

En esta instancia, los estudiantes se entusiasmaron detectando las limitaciones, que denominaron como los "errores" de la simulación. Se considera que este momento es clave puesto que permite ampliar el contenido disciplinar y a su vez rescatar posibles errores conceptuales.

<b>Tabla 1.</b> Correlación entre los componentes y acciones de la simulación y el proceso de evolución de la población viral en un individuo.	
<b>Componentes y acciones utilizados de la simulación</b>	<b>Conceptos biológicos relacionados con la evolución del virus en un individuo infectado.</b>
Ventana del programa	Individuos
Esferas negras	Virus ancestrales
Esferas de colores	Virus mutados
Secuencias de letras generadas al correr la simulación que difieren entre sí.	Diferencias nucleotídicas que representan mutaciones en el genoma del virus
Pendiente del gráfico: diferencias de secuencias de letras en función del número de generaciones	Tasa de mutaciones que resulta de calcular la pendiente del gráfico.

e) *Momento de metacognición.* Esta instancia está prácticamente integrada al momento de correlación conceptual, pero se decidió separarla para que el docente tenga presente que se trabajan dos aspectos diferentes. Si bien la actividad con la TC está relacionada con el proceso reflexivo en torno al aprendizaje del contenido, el momento de metacognición pretende estar vinculado con la reflexión acerca de la forma en que se llevó a cabo el aprendizaje con la propuesta didáctica, desde la vivencia de los participantes como alumnos del profesorado y la factibilidad de utilizar la propuesta en sus prácticas como docentes. Esta decisión se sustenta en considerar que el uso de un recurso tecnológico es una práctica y, como tal, para su apropiación requiere ser aprendida en acción y no sólo como contenido declarativo.

Este momento de metacognición permitió reflexionar acerca de para qué se usó y cómo se implementó la simulación. Para ello, la docente (en ambas cohortes) solicitó que los estudiantes pensaran retrospectivamente y escribieran a modo de hoja de ruta el recorrido que involucró la enseñanza del tema que utilizó como recurso la simulación. Algunos de los testimonios fueron: *“si pienso en lo que se hizo, la verdad es que pasamos por distintas etapas: al principio se nos contó el tema que veríamos, cómo se iba a enseñar y se describió un poco el programa que usaríamos; luego practicamos y nos sacamos el “miedo” de usarlo para, finalmente, poder relacionar y aplicar lo que se vio en la teoría con problemas y situaciones planteadas con la simulación. Me sirvió mucho porque siento que entendí el tema. Me gustaría transferir esto a mis clases”.*

f) *Momento de transferencia de contenido (actividades de aplicación).* En esta instancia, el docente deberá plantear nuevos estudios de caso o situaciones problemáticas, de forma que el estudiante los resuelva con los conocimientos adquiridos hasta el momento.

Para esta PDES, se planteó un caso clínico (Cuadro 2).

### Respuestas al cuestionario de aplicación (Cuadro 2)

*Pregunta 1:* De los 42 estudiantes, 22 (55%) respondieron correctamente. Por ejemplo:

Estudiante 1: *“[...] los virus en cada organismo sufren mutaciones al azar y eso hace que ante una droga, dependiendo de la mutación, sea diferente la respuesta que va a dar.”*

Los restantes 20 estudiantes (45%) respondieron de forma errónea e hicieron alusión a que la presión de selección (sistema inmune) sobre el virus era la que producía las diferentes mutaciones. Por ejemplo:

Estudiante 3: *“En distintos individuos los virus van a sufrir distintas mutaciones cuando se le suministre el tratamiento y, aparte, está la presión de selección del sistema inmune de cada uno que también influye, porque cada organismo, con o sin medicamento, es el ambiente de ese virus, que hará que haya más o menos mutaciones...”.*



Estudiante 5: *"Porque la presión de selección sobre el virus es diferente en los distintos individuos. Esa presión de selección y el tratamiento con AZT hace que ocurran diferentes mutaciones y haya más o menos variantes"*.

**Cuadro 2.** Caso clínico adaptado de Freeman y Herron (2012).

En Inglaterra se desarrolló un estudio, desde 1996 a 2003, con 2500 pacientes con HIV que no habían recibido anti-retrovirales hasta ese momento. Cuando comenzó la investigación, a todos los pacientes se les administró un determinado tipo de medicamento antirretroviral (AZT). En general al principio bajó la prevalencia en el tiempo de resistencia del virus, pero luego subió nuevamente.

Responda las siguientes preguntas:

1-¿Cómo justificaría que no habiendo recibido tratamiento previo con medicamentos los individuos hayan generado distintos comportamientos ante la misma droga?

2-¿Qué supuestos le permitirían explicar que, en los últimos años, la prevalencia en el tiempo de resistencia de los virus al medicamento haya sido tan alta?

3-¿Qué experimento podría sugerir para verificar las hipótesis planteadas en la pregunta anterior?

*Pregunta 2:* Sólo 11 de los 42 estudiantes (26%) dieron una respuesta correcta, como por ejemplo:

Estudiante 2: *"porque sólo sobrevivieron algunos y éstos se reproducen y dejan descendencia, entonces cada vez hay más de ese tipo"*.

Estudiante 18: *"eso sucede porque los que sobrevivieron al individuo con AZT lograron dejar descendencia que con el tiempo hizo que aumente la población"*.

Otros 26 restantes (62%), dieron distintas respuestas erróneas.

Por ejemplo:

Estudiante 6: *"el medicamento con el tiempo generó mayor frecuencia de mutaciones, por eso la prevalencia de resistencia fue cada vez más alta"*.

Estudiante 8: *"Dicho cambio pudo haber ocurrido ya que la transcriptasa reversa mutó y puede unirse a la Timina correspondiente y así transcribir el ácido nucleico viral. Dicho cambio puede producirse por acción de la selección natural"*.

Se pueden diferenciar dos categorías de respuestas erróneas a partir de esta pregunta:

- Los cambios en los virus (mutaciones) con el correr del tiempo se deben a la acción de la selección natural (36%, 15 de 42 est.).
- Los cambios en los virus (mutaciones) se generan al ser expuestos al medicamento (26%, 11 de 42 est.).

5 estudiantes de los 42 (12%) no respondieron la actividad.

*Pregunta 3:* Hubo 7 respuesta correctas, por ejemplo:

Estudiante 4: *"los virus mutan independientemente al agregado del AZT y para corroborarlo debería tomar muestras del virus en distintos momentos y se vería que antes del AZT había también variantes que les permite sobrevivir al AZT"*.

Hubo 8 estudiantes que no respondieron.

Esta pregunta permitió confirmar en un grupo de 27 estudiantes (64%) la persistencia de las concepciones erróneas halladas en las respuestas anteriores, al converger en el razonamiento incorrecto de pretender comparar un grupo de pacientes control con otro al que se le suministraba AZT y comprobar que el suministro del compuesto generaría mutantes

resistentes (la medicación generadora de cambios en la información genética). En contraposición, en el grupo testigo no aparecerían estas mutaciones por no estar en contacto con el medicamento. Por ejemplo:

Estudiante 21: “*Aislar dos grupos de individuos afectados, a uno le suministro AZT y al otro no. Luego de un tiempo voy comparando las secuencias nucleotídicas de cada uno de ellos en intervalos de tiempo determinados. Veré **cómo afecta el AZT al ácido nucleico**<sup>1</sup> de los virus de los individuos infectados como para que tengan más prevalencia en el tiempo*”.

Este momento didáctico permitió comprobar obstáculos que persisten y que no permitirían lograr una construcción genuina del modelo científico del proceso evolutivo integrando las bases moleculares del mismo.

### Valoración de los estudiantes acerca de la implementación de la PDES

Aquí, se presentan los resultados obtenidos a partir de las encuestas que fueron tomadas a los estudiantes, en forma escrita, luego de la implementación de la PDES (Anexo). De 42 estudiantes, 41 (91%) no tenían conocimientos previos de las bases moleculares del proceso de evolución. Sin embargo, al 74% la comprensión del tema les resultó fácil y al 26% regular. Resulta interesante destacar que el 74% de los estudiantes manifestó que le fue complicado transferir los conocimientos previos de evolución para resolver el estudio de caso planteado (Cuadro 2), mientras que el 26% tomó conciencia de que no tenía en claro los conceptos previos necesarios.

El 95% de los estudiantes afirmó que el tutorial y el acompañamiento del docente facilitaron el desarrollo de las actividades. El 5% restante sostuvo que el tutorial resultó prescindible.

El 100% de los estudiantes consideró importante que se haya explicitado previamente la propuesta de enseñanza y que se hayan generado espacios en la clase para reconocer las estrategias didácticas a medida que se avanzaba con la propuesta. De hecho, el 88% valoró haber utilizado la PDES argumentando que contribuiría a su formación como docentes y les permitiría utilizar estrategias similares en sus propias prácticas. Por su parte, el 12% consideró que conocer los aspectos didácticos permitió comprender mejor el objetivo que persigue cada actividad desarrollada.

## Discusión y Conclusiones

### La PDES como facilitador del aprendizaje de las bases moleculares de la evolución

En este trabajo, se ha desarrollado una propuesta didáctica para la enseñanza con simulaciones (PDES), con la utilización del *software* Forensic EALite para la enseñanza de las bases moleculares de evolución y se han analizado las condiciones y momentos que acompañan la implementación de tal propuesta. Como se menciona en la introducción, diversos autores señalan la existencia de dificultades para la enseñanza y el aprendizaje de los tópicos de genética (Rotbain *et al.*, 2006) y evolución molecular (Shumate y Windsor, 2010; Hubler *et al.*, 2015). La valoración de los estudiantes indica que la utilización de la PDES resultó facilitadora del aprendizaje de tales contenidos. Sin embargo, a partir de la triangulación de resultados, surgió que la dificultad principal residió en la resolución del caso planteado (Resultados, respuestas al cuestionario de aplicación, Cuadro 2). Esta actividad permitió evidenciar obstáculos en el aprendizaje para integrar contenidos previos de evolución con los enseñados en la simulación. Por ejemplo, se encontraron dificultades para relacionar las bases moleculares que explican el proceso evolutivo con el principio de selección natural. Asimismo,

<sup>1</sup>El resaltado es de los autores para indicar el error dentro de la respuesta.

se observaron obstáculos en la comprensión de que, en el proceso evolutivo, las mutaciones en los individuos se producen de manera aleatoria y no como respuesta al ambiente. En síntesis, se apreció que la transferencia e integración de contenidos a nuevas situaciones no siempre fue lograda.

Como afirma Oliva (2003), las analogías son un recurso potente de enseñanza que permite comprender nociones abstractas a través de otras que son más accesibles. En esta propuesta, la simulación fue considerada como un modelo analógico (Galagovsky y Adúriz, 2001) —un dominio conocido— que serviría de base para la información a enseñar, pero este recurso tecnológico por sí sólo no alcanza. Por ello, en la PDES se tuvo especial cuidado en efectuar una correlación entre los componentes y acciones clave del programa y los conceptos y procesos científicos enseñados, se analizaron las limitaciones y se dio lugar a procesos de metacognición sobre la práctica. Otro importante y estratégico uso de la simulación, reside en contextualizar la misma en un estudio de caso que puede utilizarse a modo de “anzuelo” (Ericsson, 2006), a la hora de ahondar en posibles obstáculos en el aprendizaje del tema (Garófalo, 2010; Garófalo, Alonso y Galagovsky, 2014).

Los resultados que arrojó la valoración efectuada por los estudiantes estarían evidenciando la importancia de generar prácticas disciplinares en las que se incluyan recursos didácticos que los estudiantes, quizás, hayan trabajado como teoría en otros espacios curriculares, pero que al no ponerlos en práctica quedan en el olvido. En síntesis, la PDES brindó a los participantes la oportunidad de analizar sus propios modelos de pensamiento así como sus propias dificultades. También quedó en evidencia la necesidad de reforzar y aclarar contenidos teóricos de las bases del proceso de selección natural.

### **La PDES y la adquisición de autonomía con el recurso tecnológico**

Al diseñar la PDES, se tuvo en cuenta que el recurso tecnológico como tal podría ser un obstáculo importante a la hora de implementar la propuesta (situación que fue evidenciada en el aula). Tales dificultades iniciales para algunos estudiantes, pudieron ser superadas a través de tres estrategias: a) el trabajo en parejas que les permitió a los estudiantes intercambiar y discutir cómo abordar la nueva tarea, b) las intervenciones didácticas del docente tales como la utilización del tutorial escrito adaptado de Herron (2002), que puso en contexto y articuló el software con el contenido disciplinar, c) la proyección de las mismas pantallas que los estudiantes veían en sus ordenadores. Estas estrategias permitieron orientar el trabajo con el programa de manera que los estudiantes se pudieran transformar en usuarios autónomos. Estos aspectos fueron corroborados en las encuestas efectuadas a los estudiantes ([Anexo](#)).

Poner en práctica, durante la formación docente, situaciones de enseñanza que integren softwares tales como simulaciones con propuestas como la presentada, brinda oportunidades para que el futuro docente pueda experimentar por sí mismo y, de esta forma, adquirir autonomía en la utilización de estos recursos en sus propias prácticas docentes (Klaczynski, 2004).

El uso de cualquier recurso tecnológico no deja de ser un trabajo operativo y, como tal, para su apropiación requiere ser aprendido en acción y no sólo como contenido declarativo. Los estudiantes pudieron apropiarse del contenido disciplinar y de la propuesta didáctica implementada sólo a través de su propia vivencia.

### **Aportes de la PDES para la práctica de los docentes de biología en formación**

El diseño de propuestas didácticas resulta una actividad central en el trabajo docente que no sólo implica tener presente el contenido (Sanmartí, 2000), sino la importancia del rol del profesor (Abreu, Nunes y Silva, 2010). Por tal motivo, dado que se trabajó con estudiantes de profesorado,

—quienes deberán utilizar este aprendizaje en sus propias prácticas profesionales—, se trató de que reconocieran las estrategias que el docente utilizó para la enseñanza. Por tanto, el momento de metacognición fue clave, puesto que permitió no sólo ampliar el contenido y rescatar posibles obstáculos en el aprendizaje sino también reflexionar acerca de para qué y cómo se puede usar un programa en situaciones de enseñanza. Dado que tanto el docente como los estudiantes contaron con instancias de reflexión y revisión explícitas de manera continua durante la propuesta, se pusieron en evidencia las concepciones que podrían obstaculizar o facilitar un aprendizaje sustentable. Esto también permitió resignificar la forma de pensar los objetivos de enseñanza para pasar del obstáculo al objetivo-obstáculo al construir y gestionar situaciones didácticas (Astolfi, 1994).

Esta PDES pretende aportar una forma de intervención didáctica de enseñanza con simulaciones en marcos teóricos constructivistas (Domènech, Besson, Merlo, Puigcerver, Solé, 2012), desde un enfoque globalizador del conocimiento con niveles de complejidad creciente. En el particular momento actual en el que cada estudiante y cada docente tienen acceso a su propio ordenador y conectividad en el aula, este abordaje resulta de especial interés para trabajar en la formación de profesores de enseñanza media. Así, al reflexionar sobre la propia práctica, se promueven profesionales autónomos y críticos, en esta forma de encarar la enseñanza atravesada por las nuevas tecnologías.

#### Agradecimientos

Este trabajo forma parte del proyecto de investigación financiado por el Instituto Nacional de Formación Docente (2012-2014) perteneciente al Ministerio de Educación de la Nación y del proyecto UBACyT 2014-2017 20020130100833BA financiado por la Universidad de Buenos Aires. Los autores agradecen la colaboración de los docentes Adriana Calderaro, Patricia Iglesia y Sara Steven, y de los estudiantes Gustavo Lagorio y Tamara Arrieta del Instituto Superior de Formación Docente N° 174 de Villa Ballester, Provincia de Buenos Aires, Argentina.

#### Referencias bibliográficas

- Abreu F., Nunes L. y Silva, E. (2010). Aplicação de uma webquest associada a atividades práticas e a avaliação de seus efeitos na motivação dos alunos no ensino de Biologia. *Revista Eletrônica de Ensino de las Ciencias*, 9 (1): 261-282.
- Area M. (2011). Los efectos del modelo 1:1 en el cambio educativo en las escuelas. Evidencias y desafíos para las políticas iberoamericanas. *Revista Iberoamericana de educación*, 56, 49-74.
- Astolfi J.P. (1994). El Trabajo Didáctico de los Obstáculos, en el corazón de los aprendizajes científicos. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (2), 206-216.
- Bosco A. (2008). Las tecnologías de la información y la comunicación en la formación del profesor: lineamientos, actualidad y prospectiva. *Razón y Palabra* 63. Recuperado de <http://www.razonypalabra.org.mx/n63/abosco.html>
- Brown T. A. (2007). *Genomas*. Buenos Aires: Médica Panamericana.
- Caballero M. (2008). Algunas ideas del alumnado de secundaria sobre conceptos básicos de genética. *Enseñanza de las Ciencias*, 26 (2), 227-243.
- Carrascosa J., Martínez, J. Furió C. y Guisasola J. (2008). ¿Qué hacer en la formación inicial del profesorado de ciencias de secundaria? *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 5, 118-133.
- Coll C., Onrubia J. y Mauri, T. (2007). Tecnología y prácticas pedagógicas: las TIC como instrumentos de mediación de la actividad conjunta de profesores y estudiantes.

- Annuario de Psicología*, 38 (3), 377-400. Barcelona: Facultad de Psicología Universidad de Barcelona.
- Denzin N. K. (1970): *Sociological Methods: a Source Book*. Chicago: Aldine Publishing Company.
- Domènech J., Besson I., Merlo M., Puigcerver M. y Solé M. T. (2012). Genes, memes y bits: el cómo y el porqué de cinco recursos web sobre genética. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* 11, (1), 43-58
- Ericsson K. A. (2006). "Protocol analysis and expert thought: concurrent verbalizations of thinking during experts' performance on representative task." En: Ericsson, K. A. Charness, N., Feltovich, P. J. y Hoffman, R. R. (Ed.). *Cambridge handbook of expertise and expert performance* (pp 223-242). Cambridge: Cambridge University Press.
- Fernández I., Gil D., Carrascosa J. Cachapuz A. y Praia, J. (2003). Visiones Deformadas de la Ciencia Transmitidas por la Enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (3), 477-488.
- Freeman S. y Herron J. C. (2012). "Chapter 14: Evolution and Human Health" In *Evolutionary analysis* (4<sup>th</sup> Ed.). London: Pearson Education.
- Galagovsky L. (2004). Del Aprendizaje Significativo al Aprendizaje Sustentable. Parte 1: el modelo teórico. *Enseñanza de las Ciencias*, 22 (2), 230-240.
- Galagovsky L. y Adúriz Bravo, A. (2001). Modelos Científicos y Modelos Didácticos en la enseñanza de Ciencias Naturales. El Modelo Didáctico Analógico. *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (2), 231-242.
- Galagovsky L. y Greco M. (2009). Uso de analogías para el "aprendizaje sustentable": El caso de la enseñanza de los niveles de organización en sistemas biológicos y sus propiedades emergentes. *Revista Electrónica de Investigación en Enseñanza de las Ciencias*, 4, número especial 1, 10-33.
- Garófalo S.J. (2010). Análisis de obstáculos en el aprendizaje de metabolismo de hidratos de carbono. Un estudio transversal. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- Garófalo S.J., Alonso, M. y Galagovsky L. (2014). Nueva propuesta teórica sobre obstáculos epistemológicos de aprendizaje. El caso del metabolismo de los carbohidratos. *Enseñanza de las Ciencias*, 32 (39), 155-171.
- Garófalo S.J. y Galagovsky L. (2005). Modelizar en biología: una aplicación del modelo didáctico analógico. *Enseñanza de las Ciencias*, Número extra, 1-6.
- Gómez M. A., Cañas A. M., Gutiérrez M. S. y Martín M. J. (2014). Ordenadores en el aula: ¿estamos preparados los profesores? *Enseñanza de las ciencias* 32 (2), 239-250
- Herron J. C. (2002). *Software for Evolutionary Analysis*. Recuperado de: <http://faculty.washington.edu/herronjc/SoftwareFolder/ForensicEA.html>
- Hubler T., Adams P. y Scammell J. (2015). Instant update considering the molecular mechanisms of mutation & natural Selection. *American Biology Teacher*, 77 (1) 6-9.
- Íñiguez F. J. y Puigcerver M. (2013). Una propuesta didáctica para la enseñanza de la genética en la Educación Secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 10(3), 307-327. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/15441>
- Klaczynski P. A. (2004). "A dual-process model of adolescent development: Implications for decision making, reasoning, and identity." En R. V. Kail (Ed.), *Advances in child development and behavior* (pp. 73-123). San Diego, CA: Academic Press.

- López M. y Morcillo J. (2007). Las TIC en la enseñanza de la Biología en la educación secundaria: los laboratorios virtuales. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), 562-576.
- Oliva J. M. (2003). Rutinas y guiones del profesorado de ciencias ante el uso de analogías como recurso de aula. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2 (1), 31-44. Recuperado de: [http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen2/REEC\\_2\\_1\\_2.pdf](http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen2/REEC_2_1_2.pdf)
- Perkins D. (2010). *El aprendizaje pleno: Principios de enseñanza para transformar la educación*. Buenos Aires: Paidós.
- Picitelli A. (2009). *Nativos Digitales. Dieta cognitiva, inteligencia colectiva y arquitecturas se la participación*. Buenos Aires: Santillana.
- Porlan R. y Martín J. (1991). *El diario del profesor. Un recurso para la investigación en el aula*. Sevilla: Díada Editorial.
- Rotbain Y., Marbach-Ad G. y Stavy R. (2006). Effect of bead and illustrations models on High School students' achievement in Molecular Genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 43 (5), 500-529.
- Sanmartí N. (2000). "El diseño de unidades didácticas" (Cap. 10). En Perales Palacios, F. J. y Cañal de León, P. *Didáctica de las ciencias experimentales*. Barcelona: Marfil.
- Shumate A. M. y Windsor A. J. (2010). Exploring evolutionary patterns in genetic sequence: a computer exercise. *Bioscene: Journal of College Biology Teaching*, 36(2), 10-14.
- Strauss A. y Corbin A. (2002). *Bases De La Investigación Cualitativa. Técnicas y Procedimientos. para desarrollar la teoría fundamentada*. Antioquía: Universidad de Antioquía.
- Talanquer V. (2014). Simulaciones computacionales para explorar y construir modelos. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, 76, 8-16.

## Anexo

Encuesta efectuada a los 42 estudiantes de las dos cohortes (2012-2013). El 82% de los estudiantes desarrollaba actividad docente en ese momento.
¿Tenía conocimientos previos acerca de las bases moleculares de la teoría de la evolución?
Sí
No
Valore cómo le resultó la comprensión del tema
Difícil
Regular
Fácil
Aclaraciones en relación a la pregunta anterior
No tenían en claro conceptos previos necesarios.
El uso del programa y el contenido nuevo les resultaron fáciles; no así el estudio de caso.
¿Le resultó difícil la comprensión del tutorial, teniendo en cuenta el seguimiento docente?
No, con el tutorial y el seguimiento docente se lograron llevar adelante las actividades propuestas con la simulación.
Cualquier persona que tenga un entendimiento básico del manejo de un ordenador no necesita el tutorial.
¿Considera de utilidad que se haya hecho explícito el modelo didáctico utilizado en la secuencia desarrollada?
Sí
No
Justifique la utilidad de conocer la propuesta didáctica utilizada
Contribuyó a nuestra formación como docentes y nos permitió poder utilizar estrategias similares en nuestras prácticas.
Conocer los aspectos didácticos permitió comprender mejor el objetivo que persigue cada actividad desarrollada.