

## EXPLORACIÓN DE OBSTÁCULOS EPISTÉMICOS EN EL APRENDIZAJE DE GENÉTICA Y EVOLUCIÓN DE LAS POBLACIONES EN EL PRIMER AÑO DE LA UNIVERSIDAD

RENDÓN, C. (1); STELLA, C. (2) y ALONSO, M. (3)

(1) Departamento de Ciencias Biológicas. Universidad de Buenos Aires [constanzarendon@yahoo.com](mailto:constanzarendon@yahoo.com)

(2) Universidad de Buenos Aires. [cstella@fmed.uba.ar](mailto:cstella@fmed.uba.ar)

(3) Universidad de Buenos Aires. [biocel@ymail.com](mailto:biocel@ymail.com)

---

### Resumen

El aprendizaje de la Evolución, en el marco de la Teoría Sintética de la Evolución (TSE), presenta numerosas dificultades; una sustancial reside en lograr el pasaje del análisis del nivel genético individual al nivel poblacional. Nuestra hipótesis de trabajo sostiene que este tránsito estaría obstaculizado por diferentes dificultades epistémicas.

Estudiantes de la asignatura Biología del primer año de la Universidad de Buenos Aires resolvieron dos cuestionarios semiestructurados que nos permitieron indagar nuestra hipótesis.

Los obstáculos encontrados nos llevan a concluir que el aprendizaje de la Evolución, desde el enfoque de la TSE, requiere la construcción de un modelo mental del funcionamiento biológico de una población, que no sería posible alcanzar con el simple aprendizaje de la Genética clásica y de la Teoría de la Evolución.

---

### OBJETIVO

Nos propusimos indagar dificultades epistémicas en el establecimiento de relaciones entre conceptos de

Genética clásica y Genética de poblaciones, necesarios para la introducción al aprendizaje de la Evolución desde el enfoque de la Teoría Sintética de la Evolución (TSE), en estudiantes de primer año de la Universidad.

## MARCO TEÓRICO

La Genética de poblaciones, uno de los pilares de la TSE, surge de la convergencia de la Genética y la Evolución. La TSE, a su vez, constituye el enfoque actualmente dominante para el estudio e investigación de los procesos evolutivos que ocurren en cualquier población biológica (Jiménez Aleixandre, 1994).

Las leyes de Mendel proveen los principios básicos para la discusión de la Genética Evolutiva y de Poblaciones (Campbell et al, 2004) ya que permiten abordar el estudio del equilibrio de Hardy-Weinberg (H-W) como un continuo de la genética a nivel de individuos, pero en un contexto de poblaciones.

Diversas investigaciones han puesto en evidencia las principales dificultades para el aprendizaje de la Genética (Knippels, 2002). En este sentido, nuestros trabajos previos con alumnos de primer año de la Universidad de Buenos Aires (UBA), indican que una de las dificultades más importantes reside en construir relaciones entre los instrumentos de resolución de problemas y los conceptos subyacentes, y entre los conceptos y entidades pertenecientes a los diferentes niveles de organización de la materia (Rendón, 2008).

En este contexto, consideramos un problema sustancial en el aprendizaje de la Genética lograr el pasaje del análisis del nivel genético individual al nivel poblacional, como requisito para la introducción al estudio de la Evolución en el marco de la TSE. Sin embargo, nuestra hipótesis de trabajo sostiene que tal pasaje estaría obstaculizado por diferentes dificultades epistémicas que nos propusimos identificar.

## DESARROLLO DEL TEMA

Desarrollamos nuestra investigación con estudiantes de la asignatura Biología de primer año de la UBA (n = 40). Nos preguntamos si podrían construir alguna aproximación al análisis genético poblacional utilizando los conocimientos adquiridos de Genética Mendeliana (nivel individual) y de Evolución. Para ello, les propusimos resolver dos cuestionarios semiestructurados que nos permitieron analizar **cuatro variables** (Cuadro 1, variables a, b, c; Cuadro 2, variable d):

### **a) La transposición de conceptos de genética clásica del nivel individual al poblacional**

Los estudiantes comprenden el concepto de ploidía aplicado al nivel de individuos y distinguen entre individuos haploides y diploides (preg. 1). Sin embargo, establecen una relación directa entre la ploidía de los individuos y el número de alelos para un gen en una población (preg. 2); así, 36 % responde que puede haber sólo 2 alelos en una población de individuos diploides, y 44% asume que puede haber un solo alelo si la población es de individuos haploides. Estos datos indican una dificultad para la introducción al análisis de la Genética a nivel poblacional.

### **b) Cálculos y conceptos necesarios para la introducción al equilibrio de H-W**

El 60% realiza correctamente los cálculos del problema de la preg. 3, donde, luego de agrupar al azar en parejas bolitas de dos colores, se debe calcular la proporción de cada tipo de parejas formadas. Al presentar una situación similar en una población biológica y requerir el cálculo del número de alelos totales presentes y de las frecuencias alélicas relativas (preg. 4a y b), la proporción de respuestas correctas disminuye al 52% y 40 % respectivamente.

Es muy pequeña la proporción de alumnos que deduce qué ocurre con las frecuencias alélicas para esta población a lo largo del tiempo, ya sea cuando no actúa ninguna fuerza evolutiva (preg. 4c) (equilibrio de H-W), como ante la acción de la Selección Natural (preg. 4d) (20% de respuestas correctas en cada caso).

### **c) Origen de la variabilidad fenotípica en una población y sus consecuencias**

Indagamos con un ejemplo concreto las causas por las cuales sería posible la aparición de individuos con un nuevo fenotipo en una población (preg. 5). La concepción predominante (64 %) se refiere a la expresión de un alelo recesivo que se habría hallado oculto en heterocigosis. La mutación y el flujo génico aparecen en menor frecuencia.

Al presentar un ejemplo donde aparecen individuos con nuevas combinaciones de fenotipos preexistentes (preg. 6), la gran mayoría (87%) adjudica a la reproducción sexual la recombinación de dichas características.

Con respecto a las posibles consecuencias de la aparición de una mutación (preg. 7), las respuestas mayoritarias (24% cada una) refieren a algún tipo de cambio ("*habrá cambios en genotipos y fenotipos de la población*", "*podrían aparecer gansos blancos en la población*"), o bien a la acción de la Selección Natural sobre los individuos con la nueva característica.

### **d) Relación de diferentes procesos de cambio a nivel individual y poblacional con el proceso de Evolución**

Exploramos las concepciones de los estudiantes acerca de esta variable mediante la situación planteada en el Cuadro 2, que describe una población antes y después de sufrir algún proceso de cambio evolutivo.

La mutación, el flujo génico y la deriva génica (a, b, f) son las fuerzas de cambio evolutivo más frecuentemente identificadas (68 %, 56 % y 60 % respectivamente). Sin embargo, en el 40% de las respuestas sobre el ejemplo de cuello de botella (f), la justificación es incorrecta pues se hace referencia a que sería un proceso adaptativo. Sólo en dos casos la situación planteada es identificada correctamente como un ejemplo de deriva génica, y sólo en uno se sugiere el rol del azar.

Los ejemplos de selección natural o artificial (c y d), y el cambio de frecuencias alélicas independientemente de su causa (e), son identificados como procesos evolutivos en el 44 %, 40 % y 48 % de las respuestas respectivamente. Solamente en 4 casos del total de los ejemplos propuestos se justificó la respuesta afirmativa en base al cambio de frecuencias alélicas en la población (concepción de Evolución en la TSE). Más frecuentemente encontramos justificaciones tales como: "*se modifica toda la población*", "*hay mayor variedad genética*", "*más variedades del alelo*".

## CONCLUSIONES

Presentamos evidencias de que la concepción de una población como un “pool génico”, fundamental desde la TSE, se ve obstaculizada por la incapacidad de abstraerse del concepto individual de genotipo (variable a).

Hallamos también dificultades en el manejo de conceptos relacionados con el equilibrio de H-W, principio básico de la TSE. Tales dificultades emergen en el cálculo de frecuencias alélicas de una población y en la deducción de lo que ocurre con las mismas en presencia y en ausencia de la acción de la principal fuerza de cambio evolutivo (variable b). En este último caso se manifiesta la dificultad de concebir el estado de inercia y homogeneidad en una población, ya que la mutación y otros procesos de cambio poblacional quedan relegados ante la aparición de nuevas variantes debido al cruzamiento entre individuos (variable c).

Por último, detectamos dificultades en la identificación de ejemplos concretos de procesos de cambio evolutivo, especialmente de aquellos estocásticos (variable d).

En síntesis, los obstáculos epistémicos encontrados aquí nos permiten concluir que el aprendizaje de la Evolución, desde el enfoque de la TSE, requiere la construcción de un modelo mental del funcionamiento biológico de una población, que no se alcanza con el simple aprendizaje de la Genética clásica y de la Teoría de la Evolución.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMPBELL, N., REECE, J. B. (2004). *Biología*. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana..

JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M. P. (1994). Teaching evolution and natural selection: a look at textbooks and teachers. *Journal Research Science Teaching* 31: (5)

KNIPPELS, M. C. P. J. (2002). Coping with the abstract and complex nature of genetics in biology education. Utrecht: CD-β Press. ([www.library.uu.nl/digiarchief/dip/diss/2002-0930-094820](http://www.library.uu.nl/digiarchief/dip/diss/2002-0930-094820)).

RENDÓN, C. A., GALAGOVSKY L. R., STELLA C. A., ALONSO M. (2008). Enseñando genética en el primer año de la universidad: el problema de la ‘red inconexa’”. *XXXVII Congreso Argentino de Genética*, Tandil, Argentina.

**CUADRO 1. Cuestionario semiestructurado utilizado como instrumento de indagación de las variables a, b y c.**

- 1)
  - a) ¿Cuántos alelos para un gen puede tener un individuo diploide? Justificar.
  - b) ¿Y si el individuo fuera haploide? Justificar.
- 2)
  - a) ¿Cuántos alelos para un gen puede haber en una población de individuos diploides?
  - b) ¿Y si los individuos fueran haploides?
- 3) Imagina dos recipientes, cada uno con una población de 12 bolitas, 6 blancas y 6 rojas mezcladas. Con todas ellas se forman 12 parejas tomando al azar una bolita de cada recipiente.
  - a) ¿Cómo expresarías los resultados anteriores en términos de proporciones, o probabilidades o porcentajes?
- 4) Imagina una población de 12 peces, la mitad machos y la mitad hembras. Los peces de la población son 6 de ellos heterocigotos y 6 homocigotos dominantes para el gen que determina el color de los peces, negro (alelo A, dominante) o blanco (alelo a, recesivo). Teniendo en cuenta que los peces son diploides, al igual que el ser humano, tratá de respondernos:
  - a) ¿Cuántos alelos hayen total para el color del pez en esta población de 12 peces?
  - b) ¿Qué porcentaje o proporción de cada alelo hay en la población?

En estos peces la fecundación es externa, por lo que machos y hembras liberan sus gametas al agua y estas se unen allí azarosamente para formar las cigotas de la próxima generación. O sea que podemos olvidarnos de los peces e imaginar una población de gametas femeninas y masculinas, que pueden ser de dos tipos para el gen que nos interesa, las que portan el alelo A y las que portan el alelo a, que se unen al azar para formar las cigotas. Sólo se forman 12 cigotas, de forma que el tamaño de la población en la segunda generación es igual que en la primera.

Pasa el tiempo, estas cigotas se desarrollan hasta peces adultos, y todos los progenitores se mueren. De esta forma la población queda formada sólo por los 12 peces hijos de la segunda generación. ¿Cuántos alelos A ya hay en esta nueva población?

- c) ¿Qué te parece que sucederá con la frecuencia de los alelos A ya dentro de muchas generaciones, suponiendo que se repite este proceso de fecundación al azar en todas ellas, sin que ocurra ningún evento que lo modifique? Justifica
- d) ¿Y qué te parece que sucedería con las frecuencias de los alelos A ya si en alguna generación actuara la Selección Natural? Justifica

- 5) Imaginemos una población de gansos, todos negros. ¿Es posible, que luego de varias generaciones, aparezcan gansos blancos? Indica al menos dos razones por lo que esto sería posible, y explica por qué.

- 6) Imagina una población de gansos donde algunos son negros con alas largas, otros blancos con alas cortas y otros marrones con alas medianas. Pasa un tiempo, durante el cual todos los gansos se cruzan entre sí, y entonces aparecen gansos negros, con alas cortas, largas y medianas, y también gansos blancos y marrones con alas de los tres tipos. Con respecto a este cambio en la población podemos decir (elegí la/s opciones que te parezcan correctas):
  - a) Que hubo mutaciones que generaron las nuevas combinaciones de tipos de alas y plumajes
  - b) Que la reproducción sexual permitió la combinación de las diferentes variantes de plumaje y alas.

- 7) Imagina que en una colonia de gansos negros surge una mutación en uno de los individuos, originándose un alelo para plumaje blanco. Analiza todas las posibles consecuencias que se te ocurran para el ganso en cuestión, y para la población, a lo largo del tiempo.

**CUADRO 2. Cuestionario Semiestructurado utilizado como instrumento de indagación de la variable d.** Se solicitó a los estudiantes que completaran la siguiente tabla indicando, a partir del estado inicial y final de cada población, si hubo evolución en cada una de ellas. Cada fila corresponde a un ejemplo sin relación con los demás. El color del plumaje del ganso está determinado por un único gen con 2 alelos.

| <b>Estado inicial de la población</b>   | <b>Estado final de la población</b>   | <b>¿Evolucionó esta población?<br/>¿Por qué? (brevemente)</b> |
|---|---|---|
| a) Población homogénea de gansos negros. En la población de gansos sólo existe el alelo para plumaje negro. | Mutación del gen que determina el color del plumaje, generando un alelo para plumaje blanco   |   |
| b) Población homogénea de gansos negros. En la población de gansos sólo existe el alelo para plumaje negro. | Aparición, debido a la migración y establecimiento de gansos blancos de otra colonia, de alelos blancos en la población.  |   |
| c) Población formada por gansos blancos y gansos negros   | Disminuyó la proporción de gansos blancos debido a un torreo de caza, ya que los gansos blancos eran más visibles.  |   |
| d) Población formada por gansos blancos y gansos negros   | Disminuyó la proporción de gansos blancos debido a que fueron cazados en mayor proporción por los predadores naturales de gansos.   |   |
| e) En la población, la frecuencia del alelo blanco es igual a la frecuencia del alelo negro.                | Frecuencia del alelo blanco mucho mayor que la del alelo negro (por cualquier causa)  |   |
| f) Población formada por gansos blancos y gansos negros.  | La población sufrió una gran reducción del número de individuos, el grupo sobreviviente no es una muestra representativa de la población original en cuanto al color del plumaje, es decir que no se mantiene la proporción original. |   |

## CITACIÓN

RENDÓN, C.; STELLA, C. y ALONSO, M. (2009). Exploración de obstáculos epistémicos en el aprendizaje de genética y evolución de las poblaciones en el primer año de la universidad. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, Barcelona, pp. 295-300  
<http://ensciencias.uab.es/congreso09/numeroextra/art-295-300.pdf>