

EL MODELO COGNITIVO DE CIENCIA Y LOS OBSTÁCULOS EN EL APRENDIZAJE DE LA EVOLUCIÓN BIOLÓGICA

GONZÁLEZ GALLI, LEONARDO; ADÚRIZ-BRAVO, AGUSTÍN y MEINARDI, ELSA

Grupo de Didáctica de la Biología, Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. CEFIEC, Pabellón 2, Ciudad Universitaria. (C1428EHA) Buenos Aires, Argentina.
<emeinardi@fibertel.com.ar>

Palabras clave: Modelo cognitivo de ciencia escolar; Evolución biológica; Obstáculos.

OBJETIVOS

En una primera etapa de nuestro trabajo, intentamos caracterizar los modelos teóricos y los patrones de explicación más frecuentes en relación con la evolución biológica; para ello, relevamos qué tipo de explicaciones utilizan los profesores en el aula de biología.

En una segunda etapa, que es objeto de este trabajo, proponemos categorías para identificar los obstáculos sobre los que se asientan muchas de las concepciones alternativas (es decir, concepciones erróneas pre o postinstruccionales) en relación con la evolución biológica.

En relación con la primera etapa del proyecto, uno de los autores (Meinardi) diseñó un cuestionario que remite a algunos obstáculos para construir la teoría de la evolución y ese instrumento fue pasado a profesores de ciencias naturales (física, química y biología). El análisis de los resultados ha mostrado que existe una amplia distribución de los patrones de explicación *teleológica*.

La encuesta y sus resultados han sido publicados extensamente en otro trabajo (Meinardi y Adúriz-Bravo, 2002). Sólo un 22% de los encuestados pudo dar todas las respuestas correctas.

MARCO TEÓRICO

En este trabajo utilizaremos las expresiones ‘teoría evolutiva’ y ‘evolución biológica’ para referirnos al modelo neodarwiniano actualmente vigente.

Numerosos autores (Dobzhansky, 1980; Mayr, 1998) han destacado el papel central que ocupa la teoría evolutiva en la biología contemporánea. La teoría evolutiva es indispensable para comprender las denominadas *causas últimas* de los fenómenos biológicos, es decir, para elaborar una explicación histórica acerca de los sistemas biológicos (Sober, 1996; Mayr, 1998). Se trata, además, de una teoría con profundas implicancias filosóficas, ideológicas y aun políticas (Sober, 1996).

Muchos estudios muestran que los estudiantes tienen serias dificultades para aprender significativamente la teoría evolutiva en su versión neodarwiniana (AA.VV., 2002). Entre los estudiantes de escuela media se

encuentran con frecuencia explicaciones teleológicas y finalistas que contradicen los fundamentos filosóficos de la biología moderna. Nuestros propios estudios sugieren que incluso los profesores y los licenciados en biología presentan dificultades a la hora de elaborar explicaciones evolutivas (Meinardi y Adúriz-Bravo, 2002).

El modelo cognitivo de ciencia escolar

Consideramos que el *modelo cognitivo de ciencia escolar* (Izquierdo, 1996) es una propuesta poderosa de la didáctica de las ciencias naturales, principalmente porque caracteriza la ciencia en el aula como una *actividad* cognitiva y discursiva. Dicho modelo se inspira en la filosofía cognitiva de la ciencia (Giere, 1988) y provee una visión unificadora de la ciencia erudita y la ciencia escolar, debido a su concepción semántica (*representacional*) de las teorías científicas.

Dado que los estudiantes poseen acceso a un número reducido de fenómenos, los modelos teóricos con los que pueden explicarlos serán simples al principio y se harán más complejos a medida que se conozcan más hechos (Solsona et al., 2000). Esta consideración es de suma importancia en la selección y secuenciación de los fenómenos que pueden ser enseñados con el objetivo de enriquecer los modelos teóricos escolares.

La evolución biológica como ‘modelo irreducible’ de la ciencia escolar

El modelo cognitivo de ciencia escolar muestra la teoría de la evolución como una familia de modelos teóricos, ligados a otros modelos por medio de relaciones de semejanza. Dichos modelos están lingüísticamente caracterizados por ciertos postulados que forman el núcleo de la teoría, y que son el objeto de enseñanza de la biología escolar. En conjunto, la teoría evolutiva constituye una componente *irreducible* –fundamental y estructurante– del currículo de ciencias naturales.

Los modelos evolucionistas del sentido común pueden ser analizados en términos de sus errores conceptuales y también en términos de las explicaciones teleológicas. El modelo cognitivo de ciencia escolar presta atención a ambos aspectos a través de las ideas de *núcleo lingüístico* y de *representación analógica* de la realidad.

DESARROLLO

Ideas que funcionan como obstáculos en la comprensión de los modelos

La metodología utilizada se inscribe en el campo cualitativo, y es de tipo interpretativo y reconstructivo. Se trata de inferir la pertenencia de las respuestas a modelos preestablecidos con base en indagaciones anteriores.

La población entrevistada fue de 108 docentes e incluía a profesores de ciencias con formación universitaria (estudiantes del profesorado universitario de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires), profesores con formación terciaria (profesores de física, química y biología en activo, egresados de institutos del profesorado, públicos y privados) y profesionales formados en carreras no docentes, habilitados para dar clases de biología en escuelas de nivel medio (ingenieros agrónomos, veterinarios, médicos, bioquímicos).

Una parte de la encuesta realizada se transcribe a continuación. En su formulación se usaron como posibles respuestas las concepciones alternativas más comunes que las personas sostienen cuando tratan de explicar la aparición y desaparición de un carácter en una población, recabadas en una exploración previa (Meinardi y Adúriz-Bravo, 2002).

1. Cuando usamos un insecticida, algunas cucarachas no mueren. Esto se debe a que:
 - a. el insecticida cambia la información genética de la cucaracha sobre la que se aplica el veneno; la hace mutar, tornándola más resistente a él;
 - b. las cucarachas van recibiendo varias dosis pequeñas de veneno; de esta forma pueden ir adaptándose a él;

- c. algunas cucarachas tienen la información genética que las hace resistentes al insecticida, aunque nunca hayan estado en contacto con él;
- d. las cucarachas mutan para mejorar;
- e. otra explicación (menciónela).

2. La presencia de las membranas entre los dedos en los pies (pies palmeados) en los patos, puede ser atribuida a:

- a. la necesidad de nadar mejor;
- b. la necesidad de adaptarse a las condiciones ambientales;
- c. la aparición casual de una mutación;
- d. otra explicación (menciónela).

3. La ceguera de las salamandras que viven en cuevas se debe a que:

- a. como no necesitan ver, los ojos se atrofian al no usarlos;
- b. evolucionaron para perder su vista, porque era innecesaria;
- c. un órgano no vital, como los ojos, puede perderse;
- d. la oscuridad modifica la información genética, de manera que los ojos ya no aparecen;
- e. otra explicación (menciónela).

En relación con las respuestas que los entrevistados dan, hemos caracterizado las concepciones alternativas agrupándolas según los obstáculos identificados (cuadro 1). Los números y letras del cuadro corresponden a las posibles respuestas al cuestionario.

CUADRO 1
Obstáculos y concepciones más comunes.

<i>Obstáculo y respuestas en las que se evidencia</i>	<i>Concepción espontánea</i>
Teleología: 1d, 3b	Los cambios en los organismos se producen porque existe un plan en la naturaleza, una razón previa que los induce a progresar; por eso, “mutan para mejorar”.
Necesidad: 1a, 1b, 2a, 2b, 3a	El cambio ocurre porque se necesita; los piojos “tuvieron que cambiar” porque el medio lo impuso.
Causación espontánea: 1a, 1b	Causa: presencia de un antibiótico, piojicida, cucarachicida; efecto: aparición de la resistencia.
Direccionalidad del cambio producido por el agente: 1a, 3d	El agente mutagénico (físico o químico) dirige el cambio sobre un gen específico.
No se diferencia agente mutagénico de agente selectivo: 1a	El agente externo es mutagénico y selectivo; produce el cambio y selecciona favorablemente los organismos que lo presentan.
La selección procede sobre la misma población sometida a cambios: 1a, 1b, 1d, 3a	Mutación y selección se producen sobre la misma generación de organismos. No se consideran los cambios genéticos heredables por la descendencia.
No se consideran poblaciones sino individuos: 1a, 1b	Se consideran los cambios en los organismos individuales y no el cambio en la frecuencia génica de la población como resultado de cambios y posterior selección.
Mutante somático: 1a, 3a	Las Tortugas Ninjas o el Increíble Hulk son ejemplos de mutantes. Expuestos a mutágenos, cambiaron rápidamente.

En nuestro trabajo hemos identificado algunos obstáculos que dificultan la comprensión de los modelos implicados en la teoría de la evolución biológica. La necesidad de trabajar dichos obstáculos con el fin de superarlos –dado que ello es la meta fijada en la enseñanza (Astolfi, 1997)– nos llevó a proponer diversas estrategias didácticas.

Desarrollaremos a continuación las concepciones subyacentes en algunos de los obstáculos detectados.

Análisis de los obstáculos

Teleología: Existe un principio intrínseco de la naturaleza que dirige a todos los organismos hacia la perfección. La naturaleza responde a un plan previo. Así, cada organismo tiene una causa final, una razón de ser (*finalismo*) y cumple un papel determinado para garantizar el funcionamiento del mundo.

Necesidad: El motor del cambio es la necesidad de superar la dificultad que puede presentar el ambiente para la supervivencia, como por ejemplo la necesidad de hacerse resistente a un pesticida.

Causación espontánea: Los modelos causales espontáneos suponen que un agente externo provoca en forma directa e inmediata la aparición, en un individuo, de una característica adaptativa en relación con dicho agente.

El razonamiento contrario, que debe establecerse comprendiendo el modelo que implica la aparición al azar de un carácter, parece invertir el razonamiento causal; por ejemplo, la resistencia a un antibiótico, erróneamente vista como efecto, aparece *antes* de la exposición a él (identificada desde el sentido común como causa).

Dado que los razonamientos causales constituyen una manera de pensar muy generalizada (Solsona et al., 2000), debemos tenerlos muy en cuenta en los estudiantes.

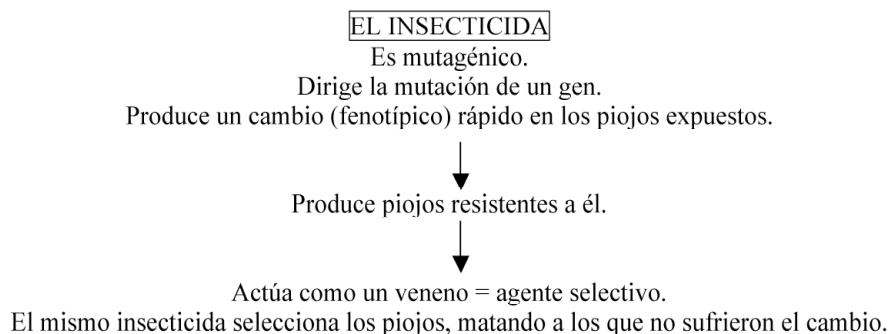
Direccionalidad del cambio: En este modelo los cambios genéticos están dirigidos por el agente externo, de manera que el agente “impacta” sobre la información genética responsable de la resistencia a él. Los insecticidas, antibióticos y pesticidas (considerados mutagénicos) generan, dentro de este modelo, la resistencia de los organismos expuestos.

Indiferenciación entre agente mutagénico y agente selectivo: En este modelo el agente es, al mismo tiempo, mutagénico y selectivo, dirige la mutación y mata los organismos que no la poseen.

Selección sobre la misma población sometida a cambios: Los cambios se producen en los mismos organismos sobre los que actúa la selección. Este modelo es usado, por ejemplo, para explicar que las cucarachas mutan por acción del pesticida e inmediatamente el mismo agente selecciona, discriminando entre resistentes y sensibles dentro de la población que acaba de mutar. No se considera la posibilidad de que el cambio se pueda haber producido en las gametas de un organismo y la selección opere sobre su descendencia.

Consideración de individuos en lugar de poblaciones: Las representaciones comunes involucradas no discriminan entre individuos y poblaciones como unidad de cambio (tampoco entre tiempos ontogenéticos y filogenéticos). En algunos casos, se hace erróneamente referencia a individuos con mayor o menor variabilidad, siendo que la variabilidad es un concepto poblacional.

Una cadena de razonamientos frecuente se resume como:



La comprensión de los modelos científicos escolares implicará pasar de un pensamiento teleológico a otro *teleonómico* o funcional.



La teleología implica la idea de causas finales. Por ejemplo, el diseño de un ojo es muy eficiente para la función de ver; el pensamiento teleológico indica que el ojo ha sido creado para ese fin. Por lo tanto, la causa final del ojo es precisamente esa; su función es previa a la creación del ojo. Habría un principio intrínseco en la naturaleza que dirige los linajes evolutivos hacia una perfección cada vez mayor (Mayr, 1998).

Por el contrario, el pensamiento teleonómico indica que el ojo sirve para ver como resultado de cambios al azar, no intencionales ni dirigidos ni anticipables, y que la ventaja que produce la visión fue el factor que lo seleccionó de manera favorable. Si la presencia casual de ojos constituye una desventaja, los individuos que tienen ojos mueren con más facilidad, por lo que los genes responsables de este carácter se hacen cada vez menos frecuentes.

CONCLUSIONES

El modelo cognitivo de ciencia escolar supone que los estudiantes podrán dar mayor cuenta de fenómenos evolutivos a medida que sus representaciones se hagan más complejas. En este sentido, conviene partir de modelos simples, que tengan en cuenta unos pocos fenómenos. En relación con la instrucción, los conceptos estructurantes básicos de los cuales convendría partir están involucrados en la comprensión de la aparición casual de las variantes en las poblaciones y la selección natural de los individuos de las poblaciones. En una segunda etapa se podrá atender a fenómenos que complejicen los modelos iniciales.

Los modelos erróneos identificados como obstáculos en este trabajo dificultan la construcción por parte de los estudiantes de teorías científicas escolares acordes con el actual modelo neodarwiniano de evolución. La identificación y la caracterización de estos obstáculos constituyen el primer paso para el diseño de estrategias didácticas tendientes a superarlos y que permitan un acercamiento progresivo de los modelos de los estudiantes a los modelos científicamente aceptados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AA.VV. (2002). Monográfico: Alfabetización científica. El aprendizaje de la evolución. *Alambique*, 32.
- ASTOLFI, J-P. (1997). *Aprender en la escuela*. Santiago de Chile: Dolmen Ediciones.
- DOBZHANSKY, T., AYALA, F.J., STEBBINS, G.L. y VALENTINE, J.W. (1980). *Evolución*. Barcelona: Omega.
- GIERE, R. (1988). *Explaining science. A cognitive approach*. Chicago: Chicago University Press.
- IZQUIERDO, M. (1996). Cognitive models of science and the teaching of science, history of science and curriculum, en *Proceedings of the Second ESERA Ph.D. Summer School*. Salónica: The Art of Text.

- MAYR, E. (1998). *Así es la biología*. Madrid: Debate.
- MEINARDI, E. y ADÚRIZ-BRAVO, A. (2002). Encuesta sobre la vigencia del pensamiento vitalista en los profesores de biología. *Revista Iberoamericana de Educación*, versión electrónica.
- SOBER, E. (1996). *Filosofía de la biología*. Madrid: Alianza.
- SOLSONA, N., IZQUIERDO, M. y GUTIÉRREZ, R. (2000). El uso de razonamientos causales en relación con la significatividad de los modelos teóricos. *Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 18 (1), pp. 15-23.