

# Obstáculos para el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural en estudiantes universitarios de biología

Leonardo González Galli <sup>1,a</sup>, Elsa Meinardi <sup>2,b</sup>

<sup>1</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Instituto de Investigaciones CeFIEC, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

<sup>2</sup>Instituto de Investigaciones CeFIEC, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

<sup>a</sup>[leomgalli@gmail.com](mailto:leomgalli@gmail.com), <sup>b</sup>[emeinardi@gmail.com](mailto:emeinardi@gmail.com)

[Recibido en abril de 2017, aceptado en julio de 2017]

Numerosos estudios muestran que el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural de Darwin es muy dificultoso en todos los niveles educativos. Entre los principales factores que dificultan el aprendizaje se encuentra la existencia y resistencia de ciertas concepciones alternativas. Este trabajo presenta los resultados de una investigación que busca identificar los modos generales de razonamiento -*obstáculos*- que subyacen a muchas concepciones de estudiantes de licenciatura en biología en relación con la evolución adaptativa. Para tal fin, se analizaron las respuestas a tres problemas y se caracterizó la estructura de las explicaciones producidas. Identificamos dos patrones explicativos principales, diferentes concepciones y tres obstáculos principales que denominamos i) razonamiento centrado en el individuo, ii) razonamiento causal lineal y iii) teleología de sentido común. En particular, se analizó en detalle el rol del pensamiento teleológico en el razonamiento sobre la evolución.

**Palabras clave:** modelo de evolución por selección natural; obstáculos para el aprendizaje; pensamiento teleológico; metacognición; enseñanza universitaria.

## Obstacles to learning the Darwinian model of evolution by natural selection in biology undergraduates in Argentina

Numerous studies show that learning the Darwin's model of evolution by natural selection is very difficult at all educational levels. Among the main factors that hinder such learning are the existence and resistance of certain alternative conceptions. This work presents the results of a strategy aimed at identifying general modes of reasoning - *obstacles* - that underlie many alternative conceptions of undergraduate biology students regarding adaptive evolution. For this purpose, the written responses to three problems were analyzed, and the structure of the explanations produced was then characterized. We have identified two major explanatory patterns, different conceptions and three main *obstacles*, which we have named i) reasoning centered on the individual, ii) linear causal reasoning and iii) common-sense teleology. In particular, the role of teleological thinking in reasoning about evolution has been analyzed in detail.

**Keywords:** model of evolution by natural selection; obstacles to learning; teleological thinking; metacognition; university teaching.

**Para citar este artículo:** González-Galli L. y Meinardi E. (2017) Obstáculos para el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural en estudiantes universitarios de biología. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 14 (2), 435-449. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/19506>

## Introducción

El lugar central que la teoría de la evolución ocupa en la biología, y su importancia en relación con otras áreas del saber, es ampliamente reconocido (Stamos 2008). Por otro lado, muchos estudios muestran que la comprensión de esta teoría por parte del público general es escasa y que el aprendizaje de sus conceptos centrales es muy problemático (véase, por ejemplo,

Gándara Gómez 2002, Gándara Gómez, Gil Quílez, Sanmartí Puig 2002, Smith 2010a). Esta situación ha motivado muchas investigaciones, identificándose numerosos factores co-responsables de los pobres resultados educativos, siendo uno de los principales la existencia y persistencia de concepciones alternativas incompatibles con los modelos científicos (Smith 2010b). El concepto de *obstáculo* (Astolfi 2001) se relaciona con este tópico y constituye el principal referente teórico de esta investigación. Los resultados que presentamos en este trabajo son parte de una investigación más amplia, que tuvo como propósito identificar los patrones explicativos, las concepciones y los obstáculos subyacentes que dificultan el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural (MESN) en estudiantes de escuela secundaria y de universidad. En trabajos anteriores (González Galli, Meinardi 2015) se presentaron los resultados para el nivel de secundaria, en este trabajo se presentan los resultados para el nivel universitario.

## Fundamentos teóricos

Uno de los fundamentos de la didáctica de las ciencias de orientación constructivista consiste en el reconocimiento de que los estudiantes tienen concepciones en relación con los contenidos que se enseñan en la escuela que muchas veces son contradictorias con los modelos científicos (Carrascosa 2005a, 2005b, Driver, Guesne, y Tiberghien 1985, Vosniadou 2008). Esto llevó a identificar el cambio de estas concepciones como un objetivo principal de la enseñanza (cambio conceptual). Sin embargo, estos enfoques han recibido diversas críticas y se han revelado limitados en cuanto a su potencial para mejorar los aprendizajes (Vosniadou 2010). Investigaciones posteriores han buscado superar la “cartografía de las representaciones” para avanzar hacia una comprensión de la naturaleza y funcionamiento de estos modos de pensar que explique su resistencia y que permita desarrollar estrategias didácticas innovadoras tendentes a su superación. El concepto de *obstáculo* es tributario de estas preocupaciones (Camilloni 2001). Como parte de nuestra investigación, hemos propuesto una definición de *obstáculo*, basada en la de Astolfi (2001, 1994), de acuerdo con la cual se trata de formas de pensar que son transversales (se aplican a un campo relativamente amplio de contenidos), funcionales (permiten al sujeto explicar ciertos aspectos del mundo) y conflictivas (compiten con el modelo científico a enseñar, en el sentido de que ambos sistemas conceptuales dan cuenta de los mismos fenómenos) (González Galli, Meinardi 2016). Llamamos *concepciones* a las ideas de los sujetos que se infieren fácilmente de sus respuestas por ser en cierto grado explícitas. Consideramos que varias de estas *concepciones* se articulan en las respuestas producidas por los estudiantes y llamamos *patrón explicativo* a la estructura de dichas explicaciones. Asumimos, de este modo, una “jerarquía representacional” que va desde los *obstáculos* (las representaciones más generales), pasando por las *concepciones*, hasta los *patrones explicativos* (las más específicas). Partimos de la hipótesis según la cual el pensamiento finalista o teleológico constituye uno de los principales obstáculos para el aprendizaje del MESN (González Galli, Meinardi 2011). Son numerosas las investigaciones que muestran que gran parte de las concepciones alternativas de los estudiantes en relación con la evolución se basan en razonamientos teleológicos (Sinatra, Brem y Evans 2008). Como se analizará más adelante, investigaciones del campo de la psicología cognitiva y de la epistemología también sugieren que la teleología constituye un aspecto problemático.

En relación con la teoría de la evolución, consideramos que las dos principales cuestiones que dicha teoría busca explicar son el origen de la diversidad biológica y el origen de la adaptación (Sterelny y Griffiths 1999). En este trabajo nos hemos centrado en la segunda cuestión. Dado que el MESN es el único modelo que explica la adaptación (Futuyma 2009), hemos enfocado nuestra indagación en las dificultades para el aprendizaje de este modelo.

## Metodología

La población participante en este estudio estuvo integrada por 154 estudiantes de tres cursos universitarios de la licenciatura en ciencias biológicas de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires. Estos cursos se eligieron de tal manera que uno de ellos, “Introducción a la botánica” (IB, 74 estudiantes), representara un momento inicial de la carrera y dos de ellos, “Ecología y comportamiento animal” (ECA, 33 estudiantes) y “Fisiología animal comparada” (FAC, 47 estudiantes), mostraran resultados de instancias avanzadas. Esta elección de las poblaciones participantes permitió estimar si el tránsito por la carrera supone algún cambio en relación con los obstáculos detectados.

Para identificar las concepciones con que los estudiantes explican la evolución adaptativa se utilizaron tres problemas de respuesta abierta que implican un grado de dificultad creciente para la aplicación del MESN. Las consignas fueron las siguientes:

Problema 1. Las poblaciones de osos polares tienen un pelaje totalmente blanco y viven en el ártico. Sabemos que estos osos se originaron de otros que tenían pelaje marrón.

¿Cómo explicarías la aparición de estas poblaciones de osos blancos a partir de osos marrones?

Problema 2. Los “peces ciegos” viven en ríos y lagos que se forman dentro de cuevas a las que no llega la luz solar, de modo que pasan toda su vida en un ambiente totalmente oscuro. Todos estos peces tienen ojos muy pequeños y cubiertos por piel, por lo que, como su nombre lo indica, son ciegos. Sabemos que estos peces se originaron a partir de un grupo de individuos que tenían ojos bien desarrollados y una excelente visión.

¿Cómo explicarías la desaparición de la visión en estas poblaciones de peces?

Problema 3. Los vampiros son murciélagos que, durante la noche, producen un pequeño corte a algún animal y toman la sangre que sale de la herida como alimento. Debido a los altos requerimientos energéticos del vuelo los vampiros deben alimentarse casi todas las noches antes de regresar a las cuevas donde pasan el día. Cuando no logran conseguir comida el riesgo de muerte por inanición es muy alto. Se ha observado que, al regresar a la cueva, aquellos vampiros que no han conseguido alimentarse suelen recibir una “donación” de sangre regurgitada por otros individuos que sí han conseguido alimentarse.

Asumiendo que esta conducta estaba ausente en poblaciones primitivas de vampiros ¿Cómo explicarías la evolución de esta conducta cooperativa de “donación” de sangre?

Para la identificación de las concepciones a partir de las respuestas escritas a estos problemas se aplicó una versión del método comparativo constante (Kolb 2012, Strauss y Corbin 1998). A partir de los resultados se reconstruyeron los principales patrones explicativos y, finalmente, se infirieron los posibles obstáculos subyacentes. Para este análisis hermenéutico se tuvieron en cuenta, además de los hallazgos derivados de los instrumentos implementados, las investigaciones en didáctica de las ciencias así como otras del ámbito de la psicología cognitiva y la epistemología e historia de la biología.

Los porcentajes que se muestran en la tabla 3 se calcularon sobre el total de respuestas dadas a los tres problemas, para cada curso. Así, el  $n$  en cada caso se obtuvo multiplicando el número de estudiantes de cada curso por el número de problemas. Por ejemplo, para IB los 74 estudiantes produjeron un total de 222 respuestas. Los valores se obtienen calculando el porcentaje de respuestas de cada tipo para cada  $n$ . Por ejemplo, para IB, el número de total de respuestas seleccionales (S) resulta de sumar las respuestas de este tipo para los tres problemas

(54 + 39 + 7 = 100), lo que representa un 45,04% del total (222). Del mismo modo se obtuvieron los demás valores. Los valores de la tabla 4 se calcularon teniendo en cuenta el total de respuestas dadas a cada problema por todos los estudiantes (154). Por ejemplo, las respuestas seleccionales para el problema 1 fueron 121 (54 del curso IB, 27 de ECA y 40 de FAC), lo que representa un 78,57% del total. Del mismo modo se calcularon los demás porcentajes que aparecen en la Tabla 4.

## Resultados y análisis

### Concepciones y patrones explicativos

A partir del análisis cualitativo de las respuestas escritas de los tres problemas se identificaron diversas concepciones (Tabla 1).

**Tabla 1.** Concepciones utilizadas por los estudiantes para explicar los casos de evolución adaptativa (a partir de las respuestas dadas a los tres problemas).

Concepción	Breve definición	Ejemplo de respuesta en que aparece la concepción
1. Variabilidad previa	El estudiante supone que ya había (antes de enfrentar el problema ambiental) distintas variantes del rasgo cuya evolución se analiza.	“Algunos osos presentaban la característica de tener el pelaje blanco (...)”.
2. Relación variante / <i>fitness</i>	El estudiante supone que ciertas variantes del rasgo analizado confieren alguna ventaja de supervivencia y/o reproducción en comparación con otras variantes.	“Estos osos con pelaje blanco tenían la ventaja de poder camuflarse en un ambiente como el del ártico. Es decir que es más probable que sobrevivan los osos blancos”.
3. Cambio poblacional	El estudiante supone que la proporción de individuos con una variante cambia entre generaciones como consecuencia de 1 y 2.	“De apoco cada vez menos crías de osos marrones sobrevivían y más crías de osos blancos sobrevivían hasta que la población se transformó totalmente a osos blancos”.
4. Variación azarosa	El estudiante supone que la posesión de una u otra variante es independiente de las ventajas o desventajas asociadas a dicha variante.	“Mutaciones al azar en el ADN de osos marrones permitieron que algunas de sus crías tuvieran el pelaje blanco (o más claro)”.
5. Finalismo explícito	El estudiante menciona explícitamente que el cambio responde a un fin, meta, objetivo o necesidad.	“Con el correr de los años el color del pelo de los osos fue modificándose con el fin de camuflarse en la nieve”.
6. Cambio individual (asociada a esta concepción está con frecuencia implícita la noción de herencia de los caracteres adquiridos).	El estudiante supone que un individuo que enfrenta un problema ambiental cambia de modo adaptativo.	“Los osos de pelaje marrón se fueron adaptando al ambiente en que vivían (...)”.
7. Inducción ambiental	El estudiante supone que el propio problema ambiental induce o causa el cambio individual adaptativo.	“Se debe al cambio del planeta que originó o causó mutaciones en las bases nitrogenadas de los genes”.
8. Finalismo implícito	El estudiante supone implícitamente que el cambio evolutivo responde a un fin.	“Los osos de pelaje marrón se fueron adaptando al ambiente en que vivían, fueron cambiando su pelaje para sobrevivir”.

**Tabla 1.** Continuación

Concepción	Breve definición	Ejemplo de respuesta en que aparece la concepción
9. Compensación	El estudiante asume que la pérdida de un rasgo implica la adquisición de otro más ventajoso.	“Al no necesitar tener tan desarrollados los ojos para vivir en ese ambiente fueron desarrollando otras características de su cuerpo que le permitieran dar más descendencia”.
10. Selección de grupos	El estudiante supone que la selección natural incrementa la frecuencia de aquellos rasgos que son más ventajosos para el grupo /población / especie.	“Esta actitud de los vampiros puede haber sido adquirida (evolutivamente) debido a que las poblaciones de vampiros con esta cooperación tienen más oportunidades de éxito que las poblaciones sin cooperación”.
11. Por el bien de la especie	El estudiante supone que se producen aquellos cambios evolutivos que se requieren para la supervivencia de la especie como un todo.	“Los individuos naturalmente e inconscientemente desean o intentan que su especie prevalezca o sobreviva durante el transcurso del tiempo”.
12. Aprendizaje	El estudiante supone que los cambios transgeneracionales en la conducta de los animales son consecuencia de procesos de aprendizaje.	“Antes encontraban suficiente alimento para todos. Luego, al no hallarlo se dieron cuenta que de este modo se evitaba la extinción por ayudarse unos a otros”.

En las respuestas de los estudiantes encontramos que estas *concepciones* aparecen articuladas en dos *patrones explicativos* principales que denominamos “finalistas” y “seleccionales” (Tabla 2). Las respuestas “finalistas” aparecen asociadas a las concepciones 5, 6, 7 y 8 mientras que las “seleccionales” – las más cercanas al MESN- se relacionan con las 1, 2, 3 y 4.

**Tabla 2.** Principales patrones explicativos para la evolución adaptativa.

Patrón explicativo		Caracterización	Ejemplo de respuesta en que aparece la concepción
Finalista	Adaptación directa por cambio individual	Frente a un problema ambiental los individuos se transforman en sentido adaptativo y dichas transformación son heredadas por la descendencia.	“El órgano se atrofió por el desuso y, al perder utilidad, por evolución fue dado de baja”.
	Adaptación indirecta por crías adaptadas	Frente a un problema ambiental los individuos no se transforman en sentido adaptativo pero producen crías adaptadas.	“La desaparición, o más bien la atrofia del sentido de la visión en lugares donde no llega la luz solar, por lo tanto no se necesitó este sentido, es muy posible que haya nacido una generación ciega y en este caso en este ambiente no presentaba ninguna desventaja, pero en este caso no se puede hablar de una ventaja sobre aquellos peces que pueden ver”.
Seleccional		Frente a un problema ambiental sobreviven y se reproducen con más frecuencia aquellos individuos que poseen alguna característica que les confiere alguna ventaja frente al problema ambiental.	“En ciertos peces de la población inicial de peces videntes ocurrieron mutaciones que derivaron en su ceguera. Como la visión en un ambiente de estas características no aporta ninguna ventaja sino que implica un gasto energético, los peces ciegos fueron seleccionados pues podían invertir esa energía sobrante en la reproducción y, con ello, dejar más descendencia”.

De estos resultados se infiere que la cantidad de respuestas seleccionales se incrementa con el grado de avance en la carrera (Tabla 3) y se reduce con la complejidad del problema (Tabla 4). Estos resultados sugieren que aunque la instrucción aumenta las probabilidades de que los estudiantes utilicen explicaciones cercanas al MESN, los patrones explicativos alternativos (finalistas) siguen presentes y disponibles en la estructura cognitiva, de modo que se activan cuando el sujeto enfrenta problemas especialmente complejos que no logra abordar desde el MESN.

**Tabla 3.** Porcentaje de respuestas para cada *patrón explicativo*, por curso, para los tres problemas.

Categoría	Seleccional (S)	Finalista (F)	Otras (O)	No responde (N)
Curso				
IB (n = 222)	45,04	31,08	15,31	8,55
ECA (n = 99)	54,54	19,19	17,17	9,09
FAC (n = 141)	60,28	19,14	16,31	4,25

**Tabla 4.** Porcentaje de respuestas para cada *patrón explicativo*, por problema, para los tres cursos.

Categoría	Seleccional (S)	Finalista (F)	Otras (O)	No responde (N)
Problema				
P1 (n = 154)	78,57	9,74	11,68	0
P2 (n = 154)	57,79	23,37	15,58	3,24
P3 (n = 154)	18,83	41,55	20,77	18,83

### Sobre las concepciones identificadas

A continuación comentamos brevemente algunos aspectos de nuestros resultados que consideramos más originales en relación con las investigaciones ya existentes. En este sentido solo presentaremos el análisis de los problemas 2 y 3, ya que el problema 1 es más parecido a los utilizados en otras investigaciones (véase, por ejemplo, González Galli, Meinardi 2015) y, por lo tanto, las concepciones identificadas en el análisis de las respuestas correspondientes (que se reseñan en la tabla 1) ya han sido en su mayoría reportadas con anterioridad.

#### *Sobre el problema 2*

Aquellos estudiantes que produjeron respuestas seleccionales para este problema asumieron que el rasgo “ceguera” debía implicar alguna ventaja por la cual fue seleccionado, sin especificar en qué podría consistir dicha ventaja. El siguiente es un ejemplo de este tipo de respuestas:

“Por una mutación en un pez que originó su ceguera, luego hubo más mutaciones en otros peces, y se reprodujeron. Esta mutación fue favorable al ambiente donde viven.”

Más allá de que este resultado era esperable -dada la dificultad del problema- llama la atención sobre la necesidad de trabajar con los estudiantes la cuestión de qué constituye una buena explicación basada en el MES, ya que estos estudiantes no consideran importante señalar *por qué* dicha variante fue seleccionada y se limitan a indicar que “fue favorable”.

Entre aquellos que sí propusieron alguna ventaja asociada a la “ceguera” se encontraron respuestas basadas en tres hipótesis. De acuerdo con la primera (“ahorro de energía”), la ventaja reside en que la producción de los ojos implica un gasto energético “innecesario” en un entorno oscuro. Así, aquellos individuos que no producen los ojos disponen de una cantidad extra de energía para invertir en otros órganos o funciones. El siguiente es un ejemplo de estas respuestas:

“En ciertos peces de la población inicial de peces videntes ocurrieron mutaciones que derivaron en su ceguera. Como la visión en un ambiente de estas características no aporta ninguna ventaja sino que implica un gasto energético los peces ciegos fueron seleccionados pues podían invertir esa energía sobrante en la reproducción y, con ello, dejar más descendencia.”.

La segunda hipótesis (“compensación”) supone que la ventaja de no desarrollar ojos reside en que permite un mayor desarrollo de otros sentidos que resultan útiles en un ambiente oscuro. Por ejemplo:

“(…) quizás la pérdida de visión en el pez causa que sus otros sentidos se agudizaran haciéndolo más apto al ambiente en que se encontraba porque la agudización de estos otros sentidos le permitieron protegerse mejor de los predadores.”.

En el caso de la tercera hipótesis (“evitación de enfermedades”) la ventaja de la ceguera está relacionada con una menor probabilidad de contraer enfermedades:

“(…) A su vez tener los ojos tapados por piel resulta en una probabilidad menor de contraer alguna infección.”.

Varias de estas explicaciones coinciden, al menos superficialmente, con algunas hipótesis que se consideran en el ámbito científico para explicar la pérdida de la visión en peces cavernícolas (Espinasa y Espinasa 2008). Por ejemplo, las respuestas basadas en la noción de “compensación” pueden relacionarse con la hipótesis científica según la cual la pérdida de la visión está genéticamente ligada con alguna variación favorable de otra capacidad sensorial. Sin embargo, los estudiantes no incluyen en sus respuestas conceptos clave de estas hipótesis científicas.

### *Sobre el problema 3*

Uno de los factores que hacen que el problema 3 sea particularmente complejo es que supone la evolución de un rasgo comportamental. El porcentaje de respuestas seleccionales para este problema fue muy bajo (Tabla 4). Los estudiantes que produjeron las respuestas seleccionales para este problema recurrieron a tres hipótesis: “selección de grupos”, “selección por parentesco” y “altruismo recíproco”. Un ejemplo de respuesta basada en la “selección de grupos” es la siguiente:

“Mutación, aquellos murciélagos que tenían un comportamiento cooperativo lograron subsistir mejor que grupos que no poseían este comportamiento (mutación de un grupo)”. Un ejemplo de respuesta basada en la “selección por parentesco”: “Esta conducta puede explicarse por selección, ya que los vampiros donadores y los donantes suelen estar emparentados. Esto puede explicarse porque al ayudar a familiares ayuda a que los genes que se comparten puedan estar en una mayor proporción al ‘ayudar’ a sus consanguíneos a que sobrevivan.”

Un caso de respuesta basada en “altruismo recíproco”:

“Alguna mutación que provocaba ese comportamiento (...) debió ser seleccionada positivamente a lo largo del tiempo (...). La ventaja que representa este comportamiento sería la siguiente: si un murciélago dona sangre a algún otro murciélago, este último podría retribuir el favor en alguna situación futura, con lo cual el primer vampiro (...) se asegura que si en el futuro fuese él el que necesite ser alimentado haya algún murciélago que le retribuya le favor (...)”.

Cabe señalar que las explicaciones basadas en la hipótesis de “selección de grupos” se incluyeron en la categoría seleccional debido al criterio amplio adoptado al respecto. Sin embargo, la mayoría de los expertos en evolución de la conducta rechazan la hipótesis de selección de grupos (Alcock 2009) y quienes la consideran válida especifican que para que este proceso tenga lugar deben darse circunstancias particulares (Sober y Sloan Wilson 1998). Sin embargo, ninguna de estas condiciones fue mencionada por los estudiantes, por lo que cabe interpretar estas respuestas más como una expresión de la TSC basada en “el bien de la especie” que de un razonamiento basado en un modelo riguroso de selección de grupos.

En relación con el problema 3 la cuestión principal, en todo caso, es por qué tan pocos estudiantes han aplicado el MESN. Una posible explicación es que las personas no asocian fácilmente la variabilidad en un rasgo etológico con la variabilidad genética (como sí lo hacen cuando se trata de un rasgo morfológico) (Ridley 2003). Algunas respuestas abonan esta hipótesis, por ejemplo:

“Este problema plantea la idea de si la conducta podría de cierta forma heredarse o venir implicada en la genética. Si esto fuera así podría pensarse de igual forma que el problema 1 y 2. (...)” y “(...) Este cambio no parece deberse a una modificación genética sino a un cambio de comportamiento.”.

### **Obstáculos para el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural**

Tras identificar las *concepciones* que se articulan en las respuestas de los estudiantes y reconstruir los *patrones explicativos* buscamos inferir los posibles *obstáculos* subyacentes. A partir de este análisis cualitativo-hermenéutico, identificamos tres obstáculos:

- Teleología de sentido común (TSC): Razonamiento según el cual todas las estructuras y los procesos biológicos están orientados a la consecución de un fin.
- Razonamiento causal lineal (RCL): Razonamiento según el cual todo fenómeno tiene una causa única y directa que lo precede temporalmente.
- Razonamiento centrado en el individuo (RCI): Razonamiento según el cual los procesos biológicos (incluida la evolución) tienen lugar a nivel individual.

En primer lugar, el análisis interpretativo busca mostrar que los *patrones explicativos* identificados (así como las *concepciones* que en ellos se articulan) pueden entenderse como la expresión de ciertas formas de pensar más generales e implícitas (*obstáculos*). Considerando que las explicaciones “seleccionales” son las más cercanas al MESN nos centraremos en las explicaciones “finalistas”. En la variante de estas explicaciones que hemos denominado “adaptación directa por cambio individual” (Tabla 2) el cambio se da a nivel individual (RCI), y no poblacional, es siempre dirigido a –tiene como fin- incrementar el ajuste entre el organismo y su medio (TSC) y se explica por una única causa precedente constituida por algún factor ambiental (o por la *necesidad* que este impone) (RCL). Así, este tipo de explicaciones puede entenderse como la expresión de la TSC, el RCL y el RCI. Una análisis análogo cabe para la variante que llamamos “Adaptación indirecta por crías adaptadas” (Tabla 2).

### **La teleología de sentido común como *obstáculo***

Estos razonamientos cumplen con los criterios adoptados para la definición de *obstáculo*. Para ilustrar este análisis tomaremos la TSC como ejemplo paradigmático de *obstáculo*. En relación con la transversalidad, numerosas investigaciones en psicología cognitiva muestran que los niños interpretan prácticamente todos los fenómenos del mundo desde una perspectiva teleológica (Kelemen 1999, entre otros). En los jóvenes-adultos, esta tendencia restringe su alcance pero se mantiene para el dominio biológico. También son numerosas las investigaciones en didáctica que muestran la presencia del pensamiento finalista en diversas áreas (Bermúdez 2015, Kampurakis y Zogza 2008, Sinatra, Brem y Evans 2008). En cuanto a la funcionalidad, las citadas investigaciones en psicología sugieren que se trata de un modo de pensar con un gran potencial heurístico y predictivo (Keil 1994). Por último, sugerimos que hay una relación de competencia entre la TSC y el MESN ya que los razonamientos teleológicos se activan cuando el estudiante se enfrenta a un caso de evolución adaptativa, situación en la que deseáramos que recurriera al modelo darwiniano.

La epistemología aporta otra fuente de reflexión en relación con el problema de la teleología. Si bien suele asumirse que el finalismo es solo un aspecto erróneo de las concepciones de los



estudiantes, la legitimidad de las explicaciones teleológicas constituye un problema central de la epistemología de la biología (Allen, Bekoff, y Lauder 1998). En el marco del problema sobre la naturaleza de las explicaciones biológicas (Brigandt 2013) se discute cuál es la estructura de las explicaciones de la adaptación basadas en el MESN (Allen, 2003) y muchos autores sostienen que tanto el propio MESN como las explicaciones de él derivadas, son teleológicas (Ayala 1999, Caponi 2003, Ruse 2000). Consideramos especialmente claro y útil para los fines pedagógicos el análisis de Ruse (2000) basado en el supuesto de que el carácter teleológico del MESN deriva de la metáfora del diseño, la cual consiste en analizar a los organismos (o sus rasgos) *como si* fueran objetos producto de un proceso de diseño deliberado. Según este autor, es el recurso a esta metáfora el que permite postular hipótesis acerca del valor adaptativo de un rasgo y dicha metáfora sería necesaria y no eliminable y dado que se trata de una metáfora con evidentes connotaciones teleológicas, la teoría misma resultaría teleológica. Otros autores (Caponi 2003) sostienen que el propio relato explicativo darwiniano tiene una estructura teleológica. Desde esta perspectiva el MESN supone más una naturalización (y legitimación) que una eliminación de la teleología (Sober 2000). Dados estos análisis deberíamos ser más cautos a la hora de considerar erróneo y censurable todo razonamiento teleológico.

Es necesario señalar que al reconocer el eventual carácter teleológico de las explicaciones darwinianas no estamos sugiriendo que, entonces, las explicaciones de los estudiantes son correctas desde el punto de vista del MESN. Ambas explicaciones supondrían razonamientos teleológicos, pero se trata de distintas formas de teleología que es imprescindible distinguir a los fines pedagógicos. Podemos resumir esta diferencia señalando que mientras en las explicaciones de los estudiantes el “nexo teleológico” aparece en la relación entre el origen de las variantes del organismo y sus posibles necesidades, en el MESN, por el contrario, dicho nexo aparece en la explicación de por qué una variante en particular incrementa su frecuencia en la población. Es en este segundo caso en el que, según Ruse (2000), es necesario recurrir a la metáfora del diseño o, según Caponi (2003), es necesario pensar la cuestión en términos problema-solución (par categorial que tiene connotaciones teleológicas). Así, de acuerdo con estos análisis, el MESN supone una teleología sin connotaciones intencionales, teológicas ni antropomórficas. En síntesis, aunque las explicaciones de los estudiantes para la adaptación son incompatibles con el MESN, ambos sistemas de explicación suponen razonamientos teleológicos, por lo que el tratamiento didáctico del problema de la teleología no podría basarse en la censura de toda expresión teleológica ni en tratamiento tendente a erradicar esta forma de pensar (cambio conceptual). Dado que el término “teleología” ha sido históricamente asociado a cosmovisiones teológicas algunos autores prefieren usar otro término para referirse a cierta teleología “científicamente respetable” implicada en el MESN. Así, siguiendo a Pittendrigh (1958), autores como Mayr (1988), Lorenz (1986) y Monod (1993) han utilizado el término “teleonomía”. Nosotros consideramos poco conveniente introducir un nuevo término que no evita, sin embargo, las connotaciones teleológicas ya que la teleonomía (Hulswit 1996) se define como una dirección a metas debida a la operación de un programa, lo que supone, una vez más, recurrir a la metáfora del diseño (si hay un programa es porque hay un programador) con sus evidentes connotaciones teleológicas.

Tomados en forma conjunta, estos aportes sugieren fuertemente que la teleología será un problema central para la enseñanza del MESN: porque los estudiantes tienen un sesgo cognitivo teleológico funcional (psicología), porque recurren a estas ideas frente a aquellos problemas que deseamos que enfrenten con el MESN (didáctica) y porque los razonamientos teleológicos cumplen un rol complejo y polémico en la propia biología (epistemología e historia de la biología).

Si bien estos análisis sugieren la hipótesis de que un determinado razonamiento (en nuestro caso la TSC) constituye un *obstáculo*, la evaluación de la misma debe llevarse a cabo analizando el funcionamiento conceptual de este razonamiento en situación didáctica (Astolfi 1994). En este sentido, nuestros resultados abonan dicha hipótesis con diversos datos:

- 1) Las *concepciones* que los estudiantes universitarios activan frente a la necesidad de explicar casos de evolución adaptativa y el *patrón explicativo* “finalista” que construyen a partir de estas *concepciones* son compatibles con la existencia de un pensamiento subyacente e implícito como la TSC.
- 2) Los estudiantes de cursos más avanzados recurren en menor medida al *patrón explicativo* “finalista” (que supone la TSC) para explicar la evolución adaptativa, presumiblemente porque disponen con mayor solidez del modelo científico (MESN).
- 3) Los estudiantes de todos los cursos analizados recurren en menor medida al MESN y más a las explicaciones “finalistas” cuanto mayor es la dificultad del caso a explicar.

Estos resultados sugieren que la TSC está presente en los estudiantes y que persiste aún tras la instrucción, incluso en cursos avanzados. Como hemos visto, muchos estudiantes que recurren correctamente al MESN frente a problemas sencillos recurren a la explicación “finalista” al enfrentar problemas complejos en los que no logran aplicar el modelo científico. Esta permanencia “latente” de la TSC (y posiblemente también del RCI y el RCL) es lo que se espera encontrar desde el marco teórico de los *obstáculos*, de acuerdo con el cual estos nunca desaparecen. Sin embargo, es un aspecto poco tenido en cuenta sobre todo en cursos universitarios avanzados, en los que se asume que los estudiantes ya han desterrado las concepciones erróneas que mencionamos o bien que estas no interferirán en el aprendizaje.

## Conclusiones

En este trabajo buscamos identificar algunas *concepciones* que utilizan estudiantes universitarios para construir *explicaciones* en relación con la evolución adaptativa y proponer algunos posibles *obstáculos* subyacentes. El principal objetivo es hacer una contribución a la comprensión de la lógica en que se basan los razonamientos de los estudiantes. Sugerimos tres modos de pensar que podrían funcionar como *obstáculos* para el aprendizaje del MESN: TSC, RCL y RCI. Ofrecimos, a modo de ejemplo, un análisis detallado del funcionamiento cognitivo de la TSC. Por supuesto, es posible que otros estilos de razonamiento no analizados aquí también funcionen como *obstáculos* junto con los ya mencionados. Por ejemplo, el pensamiento esencialista podría constituir un importante *obstáculo* (González Galli, Meinardi 2016, Smith 2010b, Wilkins 2013) que probablemente no hayamos detectado en este trabajo por la naturaleza de las preguntas y problemas (adaptación) planteados a los sujetos (es esperable que el pensamiento esencialista obstaculice más la comprensión de las explicaciones de la especiación que de la adaptación).

Cabe preguntarse, a la luz de los análisis precedentes, ¿en qué consiste “superar un *obstáculo*”? Desde los distintos modelos de cambio conceptual se derivan diferentes objetivos didácticos en relación con las concepciones alternativas de los estudiantes (Carrascosa 2005b). Por ejemplo, desde el modelo clásico se trata de “desestabilizar” dichas concepciones y de ofrecer una alternativa inteligible, verosímil y fructífera (Posner, Strike, Hewson, Gertzog 1982). Desde el modelo alternativo de “integración jerárquica” (Pozo 2007) se trata, en cambio, de que las concepciones alternativas se integren en una estructura cognitiva más compleja y más cercana a los modelos científicos. Desde el marco teórico de los *obstáculos*, por el contrario, el foco está puesto en la metacognición (Peterfalvi 2001). Desde ya, es probable que muchas de

las prescripciones didácticas derivadas de otros modelos, tales como la desestabilización mediante el conflicto socio-cognitivo, sean pertinentes. Sin embargo, dados los análisis de la psicología que hemos esbozado es difícil sostener la pretensión de eliminar la TSC (y los demás *obstáculos* identificados) y remplazarla por un modelo científico. Tal pretensión parece, a la luz de las consideraciones precedentes, poco factible e, incluso, poco deseable. Tampoco constituye la TSC una estructura teórica que pudiera subsumirse en otra de mayor alcance. Se trata más bien de un sesgo del razonamiento que podría operar sobre cualquier estructura teórica. Sugerimos entonces que el principal objetivo didáctico sería el desarrollo, por parte del estudiante, de una “vigilancia” de tipo metacognitivo (Peterfalvi 2001) que, para el caso de la TSC, supondría la capacidad de reconocer los razonamientos teleológicos en las producciones propias y de terceros, así como su regulación consciente en el sentido de saber en qué contexto son útiles y legítimos dichos razonamientos y en cuáles no lo son. En síntesis, las diversas estrategias para desestabilizar las concepciones alternativas deberían estar supeditadas al propósito principal de que el estudiante desarrolle una “vigilancia” metacognitiva sobre sus concepciones y, muy especialmente, sobre sus *obstáculos*. Esta conclusión está en consonancia con numerosas investigaciones que muestran el rol central de la metacognición en el aprendizaje de los modelos científicos (Zohar y Dori 2012). Si la hipótesis de que los sesgos cognitivos analizados funcionan como *obstáculos* es acertada, el trabajo didáctico sobre los mismos podría ser más eficaz que el trabajo de desestabilización sobre las innumerables concepciones más específicas que poseen los estudiantes. De todos modos, el trabajo sobre los *obstáculos* requiere el constante análisis explícito de las relaciones entre *obstáculos* (generales) y *concepciones* (particulares).

Nuestros hallazgos muestran una fuerte continuidad entre los problemas encontrados en el nivel secundario y el universitario. Otros autores han señalado la persistencia de muchas concepciones alternativas en el nivel universitario (por ejemplo, Nehm y Reilly 2007) y, más en general, la necesidad de revisar las estrategias de enseñanza imperantes en ese nivel educativo (Alters y Nelson 2002, Pozo y Pérez Echeverría 2009). Solo a modo de ejemplo esbozamos a continuación dos posibles líneas de acción tendentes a mejorar el aprendizaje de los modelos de la biología evolutiva en la universidad. En primer lugar, se impone la necesidad de que los profesores tengan en cuenta las concepciones alternativas de sus estudiantes. Los diversos modelos del cambio conceptual sugieren múltiples posibles abordajes de este problema (Scott, Asoko y Leach 2007, Vosniadou 2010) pero, en coherencia con el marco teórico adoptado en este trabajo, sugerimos que la modificación parcial de las prácticas pedagógicas tendente a lograr en los estudiantes mayores niveles de explicitación y conciencia sobre los propios modos de razonar (metacognición) podría constituir un criterio general muy útil para mejorar la enseñanza universitaria. Sinatra y Pintrich (2003) combinan ambos marcos teóricos (cambio conceptual y metacognición) en su propuesta de “cambio conceptual intencional”. Otro posible fundamento para la introducción de algunos cambios en las tradiciones de enseñanza universitaria lo constituye el tratamiento explícito de cuestiones meta-teóricas tales como el análisis de la naturaleza de las explicaciones, en nuestro caso, basadas en el MESN. Mencionamos, por ejemplo, que muchos estudiantes en sus explicaciones de la evolución adaptativa se limitan a señalar que los individuos con cierta variante de un rasgo simplemente “se reprodujeron más”. Podría considerarse, sin embargo, que el núcleo de una explicación darwiniana reside en identificar la razón por la cual los individuos con dicha variante se reproducen (Caponi 2003), en promedio, más que aquellos con variantes alternativas. Pero es probable que el estudiante no sea consciente de que ha producido una respuesta incompleta porque, simplemente, nunca se discutió explícitamente en la clase cómo debe construirse una “buena explicación” basada en el MESN. Un análisis de este tipo podría incluir también una discusión explícita acerca del rol de la teleología en estas explicaciones de modo que, más allá

de la postura tomada en relación con este problema, tanto profesores como estudiantes acuerden qué tipo de expresiones se considerarán correctas y cuándo y en qué sentido serían aceptables expresiones teleológicas de carácter metafórico. González Galli (2016) ofrece algunos lineamientos para el tratamiento de este problema a partir del análisis del rol de la metáfora del diseño en la biología. Este tipo de abordaje contrasta fuertemente con el habitual, acertadamente cuestionado por Zohar y Ginossar (1998), basado en la censura de las expresiones teleológicas. Así, muchas respuestas consideradas habitualmente erróneas pueden ser, en realidad, la expresión de una falta de acuerdo sobre qué se espera de las explicaciones de los estudiantes. Es en este mismo sentido que algunos investigadores han señalado, más en general, la necesidad de que la enseñanza de los patrones de argumentación propios de cada disciplina sea también objeto de enseñanza explícita (Osborne, Erduran, Simon, Monk 2001).

### Agradecimientos

El presente trabajo se ha llevado a cabo gracias al financiamiento ofrecido por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y por la Universidad de Buenos Aires (UBA).

### Referencias

- Alcock J. (2009) *Animal Behavior. An Evolutionary Approach*. Sunderland: Sinauer.
- Allen C. (2003) Teleological notions in biology. In Zalta, E. (Ed.). *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2003 Edition). Recuperado de: <http://plato.stanford.edu/entries/teleology-biology/>
- Allen C., Bekoff M., Lauder G. (1998) *Nature's purposes. Analyses of Function and Design in Biology*. Cambridge: MIT Press.
- Alters B., Nelson C. (2002) Perspective: teaching evolution in higher education. *Evolution*, 56(10), 1891-1901.
- Astolfi J. (1994) El trabajo didáctico de los obstáculos, en el corazón de los aprendizajes científicos. *Enseñanza de las Ciencias* 12 (2), 206-216.
- Astolfi J. (2001) *Conceptos clave en la didáctica de las disciplinas*. Sevilla: Díada.
- Ayala F. (1999) Adaptation and Novelty: Teleological Explanations in Evolutionary Biology. *Studies in History and Philosophy of Biology and Biomedical Sciences* 21 (1), 3-33.
- Bermúdez G. (2015) Los orígenes de la Biología como ciencia. El impacto de las teorías de evolución y las problemáticas asociadas a su enseñanza y aprendizaje. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12 (1), 66-90. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/16925>
- Brigandt I. (2013) Explanation in Biology: Reduction, Pluralism, and Explanatory Aims. *Science & Education* 22 (1), 69-91.
- Camilloni A. (Ed.). (2001) *Los obstáculos epistemológicos en la enseñanza*. Barcelona: Gedisa.
- Caponi G. (2003) Darwin: entre Paley y Demócrito. *História, Ciências, Saúde. Mangueiras* 10 (3), 993-1023.
- Carrascosa J. (2005a) El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (parte I). Análisis sobre las causas que las originan y/o mantienen. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2 (2), 183-208. Recuperado de:

- Carrascosa J. (2005b) El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (parte II). El cambio de concepciones alternativas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2 (3), 388-402. <http://hdl.handle.net/10498/16260>
- Driver S., Guesne E., Tiberghien E. (1985) *Children's idea in science*. Milton Keynes: Open University Press.
- Espinasa M., Espinasa L. (2008) Losing Sight of Regressive Evolution. *Evolution: Education and Outreach* 1 (4), 509-516.
- Futuyma D. (2009) *Evolution*. Sunderland: Sinauer.
- Gándara Gómez M., Gil Quílez M., Sanmartí Puig N. (2002) Del modelo científico de «adaptación biológica» al modelo de «adaptación biológica» en los libros de texto de enseñanza secundaria obligatoria. *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (2), 303-314.
- Gándara Gómez M. (2002) El aprendizaje de la adaptación. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 32, 65-71.
- González Galli, L. (2016) El problema de la teleología y la metáfora del diseño en biología: cuestiones epistemológicas e implicancias didácticas. *TED (Tecné, Episteme y Didaxis)*, 40. Recuperado de: <http://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/4269>
- González Galli, L., Meinardi, E. (2016) Obstáculos para el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural. In Cuví, N., Servilla, E., Ruiz, R. y Puig Samper, M. *Evolucionismo en América y Europa. Antropología, Biología, Política y Educación* (pp. 463-476). Quito: Ediciones Doce Calles – FLACSO Ecuador – Universidad Autónoma de México – Pontificia Universidad Católica de Ecuador.
- González Galli, L., Meinardi, E. (2015) Obstáculos para el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural en estudiantes de escuela secundaria de Argentina. *Ciencia y Educação*, 21(1), 101-122.
- González Galli, L., Meinardi, E. (2011) The Role of Teleological Thinking in Learning the Darwinian Model of Evolution. *Evolution: Education and Outreach*, 4(1), 145-152.
- Hulswit M. (1996) Teleology: a Peircean Critique of Ernst Mayr's Theory. *Transactions of the Charles S Peirce Society* 32 (2), 182-214.
- Kampourakis K., Zogza V. (2008) Students' intuitive explanations of the causes of homologies and adaptations. *Science & Education* 17 (1), 27-47.
- Keil F. (1994) The birth and nurturance of concepts by domains: The origins of concepts of living things. In Hirschfeld, L. y Gelman, S. (Comp.). *Mapping the mind. Domain Specificity in Cognition and Culture* (pp. 234-254). Cambridge: Cambridge University Press.
- Kelemen D. (1999) Function, goals and intention: children's teleological reasoning about objects. *Trends in Cognitive Sciences* 3 (12), 461-468.
- Kolb S. (2012) Grounded Theory and the Constant Comparative Method: Valid Research Strategies for Educators. *Journal of Emerging Trends in Educational Research and Policy Studies (JETERAPS)* 3 (1), 83-86.
- Nehm R., Reilly L. (2007) Biology majors' knowledge and misconceptions of natural selection. *BioScience* 57 (3), 263-272.
- Osborne J., Erduran S., Simon S., Monk M. (2001) Enhancing the quality of argument in school science. *School Science Review* 82 (301), 63-70.

- Peterfalvi B. (2001) Identificación de los obstáculos por parte de los alumnos. En Camilloni, A. (Ed.). *Los obstáculos epistemológicos en la enseñanza*. Barcelona: Gedisa.
- Pittendrigh C. (1958) Adaptation, natural selection, and behavior. In Roe, A. & Simpson, G. *Behavior and Evolution* (pp. 390-416). New Haven: Yale University Press.
- Posner G., Strike K., Hewson P., Gertzog, W. (1982) Acomodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education* 66 (2), 211-277.
- Pozo J. (2007) Ni cambio ni conceptual: la reconstrucción del conocimiento científico como un cambio representacional. In *Cambio conceptual y representacional en la enseñanza de la ciencia* (pp. 73-90). Pozo, J., Flores, F. (Eds.), Madrid: Antonio Machado Libros, OREALC-UNESCO/Universidad de Alcalá.
- Pozo J., Pérez Echeverría, M. (2009) *Psicología del aprendizaje universitario: la formación en competencias*. Madrid: Morata.
- Ridley M. (2003). *Nature via nurture. Genes, Experience, and What Makes Us Human*. New York: Harper Collins Publishers.
- Ruse M. (2000) Teleology: Yesterday, Today, and Tomorrow? *Studies in History and Philosophy of Biological & Biomedical Sciences* 31 (1), 213-232.
- Scott, P., Asoko, H., Leach, J. (2007) Students conceptions and Conceptual Learning in Science (pp. 31-56). In Abell, S. y Lederman, N. *Handbook of Research on Science Education*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Sinatra, G., Brem, S., Evans, M. (2008) Changing Minds? Implications of Conceptual Change for Teaching and Learning about Biological Evolution. *Evolution Education & Outreach* 1 (2), 189-195.
- Sinatra G., Pintrich, P. (Eds.). (2003) *Intentional Conceptual Change*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Smith M. (2010a) Current Status of Research in Teaching and Learning Evolution: I. Philosophical/Epistemological Issues. *Science & Education* 19 (4-8), 523-538.
- Smith M. (2010b) Current Status of Research in Teaching and Learning Evolution: II. Pedagogical Issues. *Science & Education* 19 (4-8), 539-571.
- Sober E. (2000) *Philosophy of biology*. Boulder: Westview.
- Sober E., Sloan Wilson, D. (1998) *Onto others. The Evolution and Psychology of Unselfish Behavior*. Harvard: Harvard University Press.
- Stamos D. (2008) *Evolution and the Big Questions. Sex, Race and other Matters*. Malden: Blackwell.
- Sterelny K., Griffiths P. (1999) *Sex and Death. An Introduction to Philosophy of Biology*. Chicago: The University Chicago Press.
- Strauss A., Corbin J. (1998) *Basics of qualitative research. Techniques and procedures for developing grounded theory*. US: Sages Publications.
- Vosniadou S. (Ed.) (2010) *International Handbook of Research in Conceptual Change*. Nueva York: Routledge.
- Vosniadou S. (2008) Conceptual Change Research: an Introduction. En Vosniadou, S. (Ed.). *International Handbook of Research on Conceptual Change* (iii-xxviii de la Introducción). Nueva York: Routledge.

- Wilkins J. (2013) Essentialism in Biology. In Kampourakis, K. (Ed.) *The Philosophy of Biology. A Companion for Educators* (pp. 395-420). Dordrecht: Springer.
- Zohar A., Dori, Y. (Eds.) (2012) Metacognition in Science Education. *Trends in Current Research*. Dordrecht: Springer.
- Zohar A., Ginossar S. (1998) Lifting the Taboo Regarding Teleology and Anthropomorphism in Biology. Education-Heretical Suggestions. *Science Education* 82 (6), 679-697.