

UNA PROPUESTA DE ENSEÑANZA SOBRE LA EVOLUCIÓN BIOLÓGICA

PÉREZ, GASTÓN⁽¹⁾ ; GONZÁLEZ GALLI, LEONARDO^(1,2)

¹ Grupo de Didáctica de la Biología. Instituto de Investigaciones CeFIEC. FCEN. UBA

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

gaston_biológia@yahoo.com.ar

RESUMEN

El aprendizaje de los modelos de la teoría evolutiva está influenciados por diversos factores cognitivos, emocionales y contextuales que suelen no tenerse en cuenta en las propuestas de enseñanza tradicionales. En el presente proponemos tres marcos teóricos para ser considerados en el diseño de unidades didácticas: la modelización, anclada en una perspectiva epistemológica semántica, que permite pensar la construcción de modelos escolares en el aula de ciencias; los obstáculos epistemológicos, que permiten pensar en aquellos marcos de pensamiento que subyacen a las concepciones alternativas, y la metacognición, como estrategia transversal de concientización de las formas de pensamiento y las estrategias que pueden ponerse en juego para aprender modelos de biología evolutiva. Se finaliza el trabajo con dos ideas útiles para la planificación de unidades didácticas que retoman estos marcos teóricos presentados.

Palabras clave: especiación, metacognición, modelización, obstáculos, selección natural.

DESARROLLO

De las ideas previas a la construcción de modelos

Hacia finales de los años 80 Rosalind Driver propuso, en base a sus estudios en el área de física, que los¹ estudiantes poseen esquemas conceptuales alternativos a los esquemas científicos para explicar los fenómenos del mundo. A través de los años fueron llamados por diversos autores como ideas previas, concepciones alternativas, *misconceptions*, modelos de sentido común. Muchas de estas ideas, a veces coherentes entre sí, resultaron ser compartidas en distintos contextos culturales y sociales (Campanario y Otero, 2000; Driver, 1986; Tamayo Alzate, 2006). Se trata de concepciones que se construyen idiosincrásicamente a partir de la experiencia cotidiana en el mundo natural y de las interacciones sociales (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001) así como también a partir de ciertos sesgos cognitivos menos ligados al contexto.

Los trabajos de Driver impulsaron la investigación sobre las ideas previas apareciendo extensos listados con las concepciones encontradas en las aulas. Los didactas pensaron en la importancia de favorecer el cambio de éstas ideas de manera de acercarlas más a las ideas científicas. Es así como Posner et al. (1982) propusieron su modelo de cambio conceptual, el cual años después fue reformulado (Strike y Posner, 1992). Dicho modelo asume una sustitución de las ideas de sentido común por aquellas más cercanas a las científicas.

Tradicionalmente en la enseñanza de las ciencias se asumió este modelo a partir de la contrastación de las concepciones alternativas con aquellos modelos científicos de manera que los alumnos vieran las diferencias entre ambos, y como consecuencia cambiaran sus ideas. Sin embargo hoy en día existen nuevas propuestas superadoras de los inconvenientes que tenía la anterior, como la modelización que se comentará en la siguiente sección.

¿En qué consiste la modelización?

La modelización es una estrategia de enseñanza inspirada en la concepción semántica de las teorías científicas. Desde esta concepción epistemológica se otorga un rol central en la construcción del conocimiento científico a los *modelos*, entendiéndolos como representaciones simplificadas del mundo y contextualizadas, en tanto cambian a través del tiempo para dar respuesta a los problemas que estimularon su creación. La relación entre el modelo y la realidad no es una relación de "verdad", por lo tanto lo que se busca es si el modelo se ajusta bien a los sistemas reales y hasta qué punto es similar a ellos. De esta manera, la experimentación y la observación ayudan a los científicos a decidir qué modelo "encaja" mejor respecto a los aspectos del mundo real que se están investigando (Giere, 1999a, 1999b, 1999c). En esta concepción las teorías se entienden como "familias de modelos" que tienen diversas funciones como ser comunicativas, explicativas, predictivas,

¹ Se utilizará el masculino para una fácil lectura, pero entendiendo que esto deja fuera a un amplio universo de expresiones de género que van más allá de la bicategorización reduccionista "varón" y "mujer".

descriptivas. Pueden representarse mediante cualquier medio simbólico que permita pensar, hablar y actuar con rigor y profundidad sobre el sistema que se está estudiando. De esta manera, no sólo son representaciones de modelos aquellas altamente matematizadas y abstractas usuales, sino también las maquetas, las imágenes, las tablas, las redes, las analogías siempre que habiliten a quien los usa a describir, explicar, predecir e intervenir y no se reduzcan a meros “calcos” fenomenológicos del objeto sustituido (Adúriz.-Bravo, 2010). Consideramos que tomar este enfoque en las aulas aporta una mirada epistemológica más interesante que las propuestas tradicionales de enseñanza.

Pero ¿cómo se traduce esto a una propuesta en el aula? Distintos autores como Clement (2008), Gilbert, Boulter y Elmer (2000), Gómez Galindo (2013), Nuñez-Oviedo et al. (2008), Rea-Ramirez (2008), plantean distintas formas de implementación de esta estrategia en el aula dado que la conciben de maneras distintas. Siguiendo a Gómez Galindo, la modelización implica la construcción en el aula de modelos escolares que son coherentes con los modelos científicos eruditos, aunque diferentes. No se trata de una simplificación de los modelos científicos sino una construcción nueva donde se toma en cuenta tanto el contexto como las finalidades de su construcción. En este sentido, los modelos científicos escolares mantienen las características de los modelos científicos eruditos en tanto que son funcionales, es decir, sirven para explicar fenómenos del mundo; son coherentes con los datos experimentales y modelos antecedentes, y también son completos, es decir, tratan de explicar los diferentes aspectos de la realidad con la que se relacionan. Sin embargo, se diferencian de aquellos en que los fenómenos a explicar son a menudo distintos y las ideas, conceptos, analogías y metáforas que contiene el modelo pueden estar expresadas en otro lenguaje, y con otro nivel de abstracción para que puedan ser entendidas por los estudiantes (Gómez Galindo, 2005).

Dado que la relación entre el modelo científico y la realidad no es una relación de "verdad", sino que lo que se busca es si el modelo se ajusta bien a los sistemas reales y hasta qué punto es similar a ellos, revisten de una importancia en términos analógicos como estrategia didáctica para su construcción y utilización en el aula. Tal construcción depende de muchas variables como son la edad e intereses de los alumnos y sus antecedentes, las finalidades de la enseñanza, la potencialidad explicativa del modelo objeto de aprendizaje, la relevancia social de los fenómenos a explicar, las condiciones socioculturales de la comunidad donde se ubica la escuela y los recursos de que se dispone (Gómez Galindo et al., 2007).

En el aula, estos modelos escolares se representan en diversos modos semióticos (verbal, oral, concreto, dibujos, expresiones matemáticas) lo que permite la socialización de distintos aspectos del modelo que ante otro soporte semiótico no se habían tenido en cuenta (Gómez Galindo, 2008, 2014).

Las actividades que se planifican permiten que los modelos escolares evolucionen desde situaciones concretas, cercanas al mundo de los estudiantes, para ir introduciendo en forma gradual entidades menos familiares y más abstractas (generadas en el marco de la ciencia) para explicar los mismos hechos. En este proceso de abstracción creciente, central en la modelización, los estudiantes se alejan de las representaciones de sentido común provistas

por su experiencia o experimentos/actividades propuestas, integrando ideas generadas en las clases cada vez más abstractas (García Rovira y Sanmartí, 2006; Gómez Galindo, 2008, 2009, 2013; Rivero y García Pérez, 1995).

Esta construcción escolar de los modelos involucra una regulación social y contextualizada, donde lo que se va regulando a través del tiempo es el poder explicativo de los modelos (Gómez Galindo, 2008). Dada esta regulación sobreviene un proceso de progresión conceptual, que se entiende como los sucesivos estados por los que pasa un estudiante en la evolución de sus ideas. Este avance no es rectilíneo, por lo que cada alumno podrá hacer diferentes caminos hasta acercarse al modelo “experto”, el cual es el referente de cualquier proceso de modelización (García Rovira y Sanmartí, 2006; Prieto Ruz et al, 2002).

Dos obstáculos epistemológicos que subyacen al aprendizaje de modelos evolutivos

A partir de la concepción semántica, puede pensarse que la teoría de la evolución se encuentra formada por una familia de modelos, dos de los cuales pueden considerarse centrales según varios autores. Estos modelos son los que explican la biodiversidad existente (modelos de especiación) y la adaptación (el modelo de selección natural) (González Galli, 2010; Kampourakis, 2014; van Dijk y Reydon, 2010). Ambos modelos, de enseñanza obligatoria en la escuela secundaria, tienen profundas implicancias para comprender nuestro origen, las ideas de raza, la resistencia bacteriana a antibióticos, la relación entre los factores ambientales y hereditarios en la determinación de nuestros rasgos, las políticas eugenésicas, las dificultades en el control de la pandemia provocada por el VIH y otros fenómenos de gran relevancia social.

La transposición didáctica de estos modelos es un problema propio de la didáctica de la biología, en tanto su aprendizaje está influenciado por factores como los obstáculos epistemológicos, las creencias religiosas, las actitudes sobre la ciencia, la motivación, los conceptos con distintos significados en la vida cotidiana que en términos científicos como el de causalidad o azar, las escalas de tiempo, los objetivos de los docentes así como sus propias concepciones alternativas y actitud hacia la ciencia, factores demográficos como edad, género (González Galli, 2011; Kampourakis, 2014; Smith, 2010a, 2010b; Thagard y Findlay, 2010).

Como en anteriores trabajos, nos centraremos aquí en el concepto de obstáculo, basado en la noción bachelardiana de “obstáculo epistemológico” y desarrollado por la didáctica de las ciencias francesa. Astolfi (1994) propone que los obstáculos dan cuenta de una interpretación del origen de las concepciones alternativas encontradas en los estudiantes. Son marcos de pensamiento que funcionan como un “núcleo duro” de estas concepciones, como aquello que se resiste verdaderamente a los aprendizajes y razonamientos científicos. Los obstáculos presentan tres características: transversalidad (aparecen asociados a distintos dominios del pensamiento), funcionalidad (cumplen una función cognitiva en virtud de su poder explicativo) y conflictividad (explican lo mismo que pretendemos que el estudiante explique con el modelo científico que le va a ser enseñado) (González Galli y Meinardi, 2010).

Si bien puede esbozarse una lista de al menos ocho obstáculos (González Galli y Pérez, 2014) para el aprendizaje de la biología evolutiva, en este escrito nos centraremos en que, a nuestro parecer y el de otros autores (Kampourakis, 2014), son los más importantes.

Obstáculo: Teleología

El pensamiento teleológico (o finalista) involucra explicaciones que apelan a la existencia de una finalidad, objetivo o meta para procesos o estructuras biológicas (Kampourakis, 2014; Sepúlveda y El-Hani, 2012; Smith, 2010b). En el caso del aprendizaje de los modelos evolutivos puede asociarse a asumir que las variaciones se producen según las necesidades del individuo (supuesto de utilidad funcional) y/o que los cambios evolutivos corresponden a ciertos fines predeterminados como la producción de la especie humana (supuesto de finalidad existencial) (Mead y Scott, 2010; González Galli, 2010). Esto dificulta pensar que los cambios evolutivos obedecen a causas precedentes (y no a fines predeterminados o a necesidades) y que el origen de las variaciones heredables no está ligado a su valor adaptativo (azar).

Algunas concepciones a las que subyace el pensamiento finalista pueden ser: las bacterias mutan para hacerse resistentes, los osos polares se volvieron blancos porque necesitaban camuflarse, las plantas hacen fotosíntesis así nosotros podemos respirar, los individuos se adaptan y cambian para encajar en su ambiente, los organismos nacen con esas características que necesitan.

Obstáculo: Escencialismo

El esencialismo es un término polisémico sobre cuyo significado no hay consenso (para una revisión interesante ver Estrada et al., 2007). Sin embargo puede caracterizarse generalmente como aquella forma de pensamiento que implica que existen categorías reales con límites bien definidos en la que los miembros de dichas categorías se identifican por un conjunto de rasgos. Esos rasgos identificatorios son expresiones de su esencia o “naturaleza”, esta esencia es abstracta e inmutable (un pájaro no puede convertirse en perro, o un niño en niña) (Gelman y Rhodes, 2012; Sinatra et al, 2008; Smith, 2010b; Sober, 1980; Wilkins, 2013). En el caso del aprendizaje de los modelos evolutivos esta forma de pensamiento se asocia a suponer que la variabilidad es un “ruido” y que existe una esencia innata e inmutable, lo cual dificulta comprender el rol importante que juega la variación en los procesos evolutivos en términos de causa (Sober, 1980), que esta variación es continua (Coley y Tanner, 2012; Shtulman y Schulz, 2008) y que las nuevas especies se originan como lo que inicialmente eran variedades de otras especies.

Algunos ejemplos de ideas propuestas por estudiantes en las que subyace el pensamiento esencialista pueden ser: las ballenas son peces, miembros de la misma especie son casi idénticos en sus características físicas, todo individuo debe pertenecer a una especie u otra, una especie no puede dar origen a otra distinta, como cada célula del organismo tiene diferentes características deben tener diferente ADN.

Metacognición: El trabajo didáctico sobre los obstáculos

Dada la identificación de estos y otros obstáculos como marcos de pensamiento funcionales para el sujeto en diversas situaciones pareciera imposible erradicarlos. Es por esto que una forma de trabajo didáctico propuesta por didactas franceses (Peterfalvi, 2001; Astolfi, 1994) es el desarrollo de la capacidad de reconocer conscientemente las múltiples manifestaciones de estos obstáculos para estar en condiciones de evitarlos cuando intervengan en el propio pensamiento. “La identificación de obstáculos contribuye a consolidar y estructurar la construcción de conceptos, pues la formulación de aquello contra lo cual se construye el concepto es determinante para delimitarlo” (Peterfalvi, 2001).

Para lograr esto es necesaria un monitoreo consciente del propio pensamiento, mediante el cual las decisiones cognitivas automáticas sean reguladas por decisiones razonadas conscientemente. Esta forma de monitorización de la propia cognición daría cuenta de un proceso metacognitivo.

Si bien no existe una única definición del término metacognición, varios autores acuerdan en que puede distinguirse dos componentes: (1) el conocimiento que tienen las personas sobre la cognición (el cual incluye conocimiento sobre conceptos, tareas, estrategias) en general, sobre la de las otras personas o sobre la suya propia y (2) el conocimiento de los procesos reguladores que las personas utilizan cuando están resolviendo una tarea o cuando tratan de llevar a cabo un aprendizaje específico (Martí, 1995). Entre ambos tipos de conocimiento hay una relación dialógica, en tanto es muy posible que el conocimiento que tenga una persona sobre la cognición repercuta sobre la regulación cognitiva. Si la persona sabe, por ejemplo, que la tarea que ha de afrontar es una tarea que requiere un gran esfuerzo de memoria y que puede ser incapaz de recordar todas las informaciones que vayan surgiendo, probablemente planificará e irá controlando dichas informaciones (por ejemplo apuntándolas) de otro modo que si no tiene dicho conocimiento. Recíprocamente, es probable que los procesos reguladores que las personas aplican cuando resuelven un problema o cuando abordan una tarea de aprendizaje repercutan sobre los conocimientos que van elaborando sobre su propio proceso cognitivo. El hecho, por ejemplo, de tener que ir controlando y memorizando las informaciones que aparecen en la resolución de un problema para poder resolverlo puede desembocar en conocimientos que el sujeto va elaborando sobre su propia capacidad, sobre la limitación de su capacidad de memoria y sobre la particularidad de dicha tarea (Martí, 1995). A su vez autores como Ford y Yore (2012), Schraw et al. (2012), White et al. (2009) distinguen subcomponentes en estos conocimientos metacognitivos. A continuación ejemplificamos estos subcomponentes para el caso de los obstáculos mencionados anteriormente:

(1) El conocimiento sobre la cognición (llamado conocimiento metacognitivo), incluye al menos tres tipos diferentes de conciencia metacognitiva: declarativa (saber sobre), procedimental (saber cómo) y condicional (saber cuándo y por qué). El conocimiento declarativo incluye el conocimiento sobre uno como aprendiz y sobre los factores que influyen la performance. Por ejemplo, saber sobre la existencia de determinados marcos de pensamiento como la teleología o el esencialismo. El conocimiento procedimental

refiere al conocimiento sobre el hacer. Este conocimiento puede representarse como heurísticos o estrategias. Por ejemplo, saber que debo estar atento a dichos marcos de pensamiento, reflexionando sobre cómo estos influyen en mis pensamientos. El conocimiento condicional refiere a saber cuándo y por qué usar el conocimiento declarativo y procedimental. Por ejemplo, saber que debo usarlo cuando estoy comprendiendo o usando mis conocimientos para dar respuesta a cuestiones relacionadas con la evolución ya que si no estoy atento puedo caer en concepciones del sentido común sustentadas por esos obstáculos.

(2) La regulación de la cognición refiere a una serie de actividades que ayudan a controlar el aprendizaje. Por ejemplo, el mejor uso de los recursos de atención, de las estrategias y la mejor consciencia sobre la comprensión. Hay tres habilidades regulatorias: planear, monitorear y evaluar. Planear involucra seleccionar estrategias apropiadas y destinar recursos para resolver la tarea. Incluye hacer predicciones, secuenciar estrategias, destinar tiempo o atención selectivamente. Monitorear refiere a la consciencia sobre la comprensión y la performance en la tarea. Por ejemplo, el monitoreo sobre los obstáculos cuando se resuelve alguna situación. Evaluar refiere a la valoración de productos y eficiencia del aprendizaje, por ejemplo la evaluación, por parte del mismo estudiante, del cumplimiento de los objetivos de la tarea.

CONCLUSIÓN

Propuesta de secuencia

Entendiendo que los estudiantes poseen concepciones alternativas a las científicas sobre los fenómenos evolutivos y que a éstas subyacen algunos obstáculos que no serían modificables, proponemos tomar estas ideas previas para construir con ellas nuevos modelos escolares, proceso que requerirá la monitorización de los obstáculos.

Para lograr esto proponemos dos ideas que podrían ser conductoras en el desarrollo de una unidad didáctica:

(1) El proceso de modelización debe ser un proceso de construcción de abstracción creciente. Trabajar a partir de un caso concreto sobre el que se problematice la construcción de ambos modelos (el de selección natural y el de especiación). Esta construcción podrá ser visible para los estudiantes, por ejemplo, mediante el uso de diagramas o mapas conceptuales que se vayan armando a medida que nuevas ideas surjan en las discusiones del aula. Siguiendo con este ejemplo, será necesario fotografiar estos mapas para al final observar el camino recorrido y la construcción de una nueva forma de explicar el caso concreto que se propuso en el inicio. Sobre este mapa podrán agregarse imágenes, dibujos, reflexiones, formas de monitorización que se encuentran dinámicamente interrelacionadas en los modelos que se construyan.

(2) Durante la unidad será necesario incorporar el trabajo metacognitivo sobre los obstáculos epistemológicos. Dicho trabajo podrá ser representado también sobre el mapa ya que es parte del modelo que se construye, en tanto deberá considerarse cuando se quiera

aplicar dicho modelo a la resolución de problemas diferentes de los que dieron origen a su construcción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adúriz-Bravo, A. (2010). Concepto de modelo científico: una mirada epistemológica de su evolución. En Galagovsky, L. (Coord.), *Didáctica de las Ciencias Naturales* (pp. 141-161). El caso de los modelos científicos. Buenos Aires: Lugar editorial.

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.

Campanario, J. y Otero, J. (2000). Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: Las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 18 (2): 155-169.

Clement, J. (2008). The role of explanatory models in teaching for conceptual change. En: Vosniadou, S. (Ed.), *International handbook of research on conceptual change* (pp. 417-452). Amsterdam: Routledge.

Coley, J. y Tanner, K. (2012). Common Origins of Diverse Misconceptions: Cognitive Principles and the Development of Biology Thinking. *CBE—Life Sciences Education*, 11: 209-215.

Driver, R. (1986). Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 4 (1): 3-15.

Estrada, C., Oyarzún, M., y Yzerbyt, V. (2007). Teorías implícitas y esencialismo psicológico: herramientas conceptuales para el estudio de las relaciones entre y dentro de los grupos. *Psyche*, 16 (1): 111-121.

Ford, C. y Yore, L. (2012). Toward convergence of critical thinking, metacognition, and reflection: illustrations from natural and social science, teacher education and classroom practice. En: Zohar, A. y Dori, Y. (Eds.), *Metacognition in Science Education. Trends in Current Research* (pp. 251-271). New York: Springer.

Galagovsky, L. y Adúriz-Bravo, A. (2001). Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico. *Enseñanza de las ciencias*, 19 (2): 231-242.

García Rovira, M.P. y Sanmarti, N. (2006). La modelización: una propuesta para repensar la ciencia que enseñamos. En: Quintanilla, M. y Aduriz-Bravo, A. (Eds.), *Enseñar Ciencias en el nuevo milenio* (pp. 279-297). Santiago de Chile: Universidad Católica De Chile.

Gelman, S. y Rhodes, M. (2012). Two-thousand years of stasis: How psychological essentialism impedes evolutionary understanding. En: Rosengren, K.; Brem, S; Evans, E. y Sinartra, G. (Eds), *Evolution challenges: Integrating research and practice in teaching and learning about evolution* (pp. 3-21). New York: Oxford University Press.

Giere, R. (1999a). Del realismo constructivo al realismo perspectivista. *Enseñanza de las Ciencias*, Numero extra: 9-13.

Giere, R. (1999b). Un nuevo marco para enseñar el razonamiento científico. *Enseñanza de las Ciencias*, Numero extra: 63-70.

Giere, R. (1999c). Using Models to Represent Reality. En: Magnani, L.; Nersessian, N. y Thagard, P. (Eds), *Model-Based Reasoning in Scientific Discovery* (pp. 41-57). Pavia, Italy: Springer.

Gilbert, J.; Boulter, C. y Elmer, R. (2000). Positioning Models in Science Education and in Design and Technology Education. En: Gilbert, J. y Boulter, C. (Eds.), *Developing Models in Science Education* (pp. 3-17). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Gómez Galindo, A. (2005). La construcción de un modelo de ser vivo en la escuela primaria: una visión escalar (Tesis de doctorado). Universitat Autònoma de Barcelona, Facultat de Ciències de la Educació Departament de Didàctica de la Matemàtica i de les Ciències Experimentals, Barcelona.

Gómez Galindo, A. (2008). Las Concepciones Alternativas, el cambio conceptual y los modelos explicativos del alumnado. En: Merino Rubilar, C.; Gómez Galindo, A. y Aduriz-Bravo, A. (Coords.), *Áreas y Estrategias de Investigación en la didáctica de las Cs Experimentales* (pp. 17-38). Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona.

Gómez Galindo, A. (2009). Estudio de los seres vivos en la educación básica: Enseñanza del sistema nervioso desde un enfoque para la evolución de los modelos escolares. Monterrey: Universidad autónoma de Nuevo León.

Gómez Galindo, A. (2013). Explicaciones narrativas y modelización en la enseñanza de la biología. *Revista Enseñanza de las Ciencias*, 31 (1): 11-28.

Gómez Galindo, A. (2014). El uso de representaciones multimodales y la evolución de los modelos escolares. En: Merino, C.; Arellano, M. y Aduriz-Bravo A. (Eds.), *Avances en Didáctica de la Química: Modelos y lenguajes* (pp. 51-61). Valparaíso: Ediciones Universitarias de Valparaíso.

Gómez Galindo, A.; Sanmartí, N. y Pujol, R. (2007). Fundamentación teórica y diseño de una unidad didáctica para la enseñanza del modelo de ser vivo en la escuela primaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 25(3): 325–340.

González Galli, L. (2010). La teoría de la evolución. En: Meinardi, E.; González Galli, L.; Revel Chion, A. y Plaza, M.V., *Educación en Ciencias* (pp. 225-255). Buenos Aires: Paidós.

González Galli, L. (2011). Obstáculos para el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural (Tesis de doctorado). Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Buenos Aires.

González Galli, L. y Pérez, G. (2014). Obstáculos para el aprendizaje de la Biología Evolutiva. XI Jornadas Nacionales y VI Congreso Internacional de Enseñanza de la Biología, General Roca, Río Negro, Argentina, 9-11 octubre.

Kampourakis, K. (2014). *Understanding Evolution*. New York: Cambridge University Press.

Mead, L. y Scott, E. (2010a). Problem Concepts in Evolution Part I: Purpose and Design. *Evolution: Education and Outreach*, 3, 78–81.

Núñez-Oviedo, M. y Clement, J. (2008). A Competition Strategy and Other Modes for Developing Mental Models in Large Group Discussion. En: Clement, J. y Rea-Ramirez, M.

(Eds.), *Model Based Learning and Instruction in Science* (pp. 117-138). Dordrecht: Springer.

Peterfalvi, B. (2001). Identificación de los obstáculos por parte de los alumnos. En: Camilloni, A. (Comp.), *Los obstáculos epistemológicos en la enseñanza* (pp. 127-168). Barcelona: Gedisa.

Posner, G. J.; Strike, K. A.; Hewson, P. W. y Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science education*, 66 (2): 211-227.

Prieto Ruz, T.; Blanco López, A. y Brero Peinado, V. (2002). La progresión en el aprendizaje de dominios específicos: una propuesta para la investigación. *Enseñanza de las ciencias*, 20(1): 3-14.

Rea-Ramirez, M. (2008). Determining Target Models and Effective Learning Pathways for Developing Understanding of Biological Topics. En: Clement, J. y Rea-Ramirez, M. (Eds.), *Model Based Learning and Instruction in Science* (pp. 45-59). Dordrecht: Springer.

Rivero, A. y García Pérez, F. (1995). Dificultades y obstáculos en la construcción del conocimiento escolar en una hipótesis de progresión de lo simple a lo complejo: Reflexiones desde el ámbito del medio urbano. *Investigación en la Escuela*, 27: 83-94.

Schraw, G; Olafson, L.; Weibel, M. y Sewing, D. (2012). Metacognitive Knowledge and Field-based science learning in outdoor environmental education program. En: Zohar, A. y Dori, Y. (Eds.), *Metacognition in Science Education. Trends in Current Research* (pp. 57-77). New York: Springer.

Sepúlveda, C. y El-Hani, C. (2012). Obstáculos epistemológicos y ontológicos en la comprensión del concepto darwinista de adaptación: implicaciones en la enseñanza de evolución. En: Molina Andrade, A. (Comp.), *Algunas aproximaciones a la investigación en educación en enseñanza de las Ciencias Naturales en América Latina* (pp 89-114). Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Shtulman, A., y Schulz, L. (2008). The relation between essentialist beliefs and evolutionary reasoning. *Cognitive Science*, 32 (6): 1049-1062.

Sinatra, G.; Brem, S. y Evans, M. (2008). Changing Minds? Implications of Conceptual Change for Teaching and Learning about Biological Evolution. *Evolution: Education and Outreach*, 1: 189-195.

Smith, M. (2010a). Current Status of Research in Teaching and Learning Evolution: I. Philosophical/Epistemological Issues. *Science and Education*, 19: 523-538.

Smith, M. (2010b). Current Status of Research in Teaching and Learning Evolution: II. Pedagogical Issues. *Science and Education*, 19: 539-571.

Sober, E. (1980). Evolution, population thinking, and essentialism. *Philosophy of Science*, 47 (3): 350-383.

Strike, K. A. y Posner, G. J. (1992). A Revisionist Theory of Conceptual Change. En: Duschl, R. y Hamilton, R. (Eds.), *Philosophy of Science, Cognitive Psychology, and Educational Theory and Practice* (pp. 147-194). Nueva York: State University of New York Press.

Tamayo Alzate, O. (2006). Representaciones semióticas y evolución conceptual en la enseñanza de las ciencias y las matemáticas. *Educación y Pedagogía*, 18 (45): 37-49.

Thagard, P. y Findlay, S. (2010). Getting to Darwin: Obstacles to Accepting Evolution by Natural Selection. *Science & Education*, 19: 625–636.

van Dijk, E. y Reydon, A. (2010). A conceptual analysis of evolutionary theory for teacher education. *Science & Education*, 19 (7): 655-677.

White, B.; Frederiksen, J. y Collins, A. (2009). The Interplay of Scientific Inquiry and Metacognition. More than a Marriage of Convenience. En: Hacker, D.; Dunlosky, J. y Graesser, A. (Eds.), *Handbook of Metacognition in Education* (pp. 175-205). New York: Routledge.

Wilkins, J. (2013). Biological Essentialism and the Tidal Change of Natural Kinds. *Science & Education*, 22: 221–240.