



La regulación de los obstáculos epistemológicos en el aprendizaje de la evolución

The regulation of epistemological obstacles in the learning of evolution

Gastón Pérez
Instituto de investigaciones CeFIEC. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. Argentina.
gastonperezbio@gmail.com

Alma Adrianna Gómez Galindo
Cinvestav Monterrey. México.
agomez@cinvestav.mx

Leonardo González Galli
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Buenos Aires. Argentina. Instituto de investigaciones CeFIEC. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. Argentina.
leomgalli@gmail.com

RESUMEN • Los obstáculos epistemológicos son modos de razonar que influyen en el aprendizaje de las ciencias. El trabajo didáctico sobre ellos implica el desarrollo de una vigilancia metacognitiva de manera de prestarles atención cada vez que se construye o se utiliza un modelo científico. En este trabajo caracterizaremos los modos de regulación de los obstáculos que surgieron durante el desarrollo de una secuencia didáctica para enseñar evolución en tres cursos de nivel medio. En particular propondremos ejemplos de la regulación de la teleología, uno de los obstáculos más importantes para la enseñanza de la biología. A partir de la construcción de categorías en base a la teoría fundamentada distinguimos tres modos de regular: un señalamiento del obstáculo en explicaciones de los estudiantes, una regulación de tipo individual compleja y una regulación de tipo social compleja.

PALABRAS CLAVE: Metacognición; Obstáculos epistemológicos; Evolución; Teleología.

ABSTRACT • Epistemological obstacles are modes of reasoning that influence the learning of science. The pedagogical work on them implies the development of a metacognitive vigilance in order to pay attention to them each time a scientific model is constructed or used. In this work we will characterize the modes of regulation of the obstacles that arose during the development of a teaching sequence to teach evolution in three junior high school courses. In particular we will propose examples of the regulation of teleology, one of the most important obstacles for the teaching of biology. Starting from the construction of categories based on grounded theory, we distinguish three ways of regulating: a pointing out of the obstacle in students' explanations, a complex individual regulation type and a complex social regulation type.

KEYWORDS: Metacognition; Epistemological obstacles; Evolution; Teleology.

Recepción: abril 2019 • Aceptación: julio 2019 • Publicación: marzo 2021

Pérez, G., Gómez Galindo, A. A. y González Galli, L. (2021). La regulación de los obstáculos epistemológicos en el aprendizaje de la evolución. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(1), 27-44.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2968>

INTRODUCCIÓN

Fomentar la conciencia y regulación sobre los propios modos de pensar o, en otras palabras, fomentar la metacognición se ha convertido en uno de los objetivos principales en las clases de ciencias orientadas a la construcción de una ciudadanía crítica (Pozo, 2016; Tamayo Alzate et al., 2017; Zohar y Barzilai, 2013). Con relación a los modelos evolutivos, una ciudadanía crítica implicaría que los¹ estudiantes concluyan sus estudios habiendo desarrollado herramientas para tomar decisiones sobre temas como la agricultura, la conservación de la biodiversidad, la medicina, entre muchos otros campos (Dennett, 1999; Stamos, 2008). No obstante, hace años que educadores e investigadores manifiestan que los estudiantes no aprenden (y en muchos casos no se enseñan) los modelos más básicos de la biología evolutiva que permitirían resolver las cuestiones antes mencionadas (Álvarez Pérez, 2015; González Galli, 2011).

Uno de los principales factores que explican, en parte, esta situación es la existencia y persistencia en los estudiantes de concepciones alternativas (véase, por ejemplo, Jiménez Aleixandre, 1991). Por tal razón, diversas líneas de investigación buscan indagar la naturaleza y funcionamiento de dichas concepciones. En esta línea, el marco teórico centrado en el concepto de obstáculo epistemológico (OE) busca identificar los modos de razonamiento generales que subyacen a dichas concepciones (Astolfi, 1994, 2003; Astolfi y Peterfalvi, 2001). Estos obstáculos corresponden a modos de razonar propios de los sujetos que influyen en el aprendizaje de los modelos científicos pudiendo, en ocasiones, dificultar dicho proceso.

Para lidiar con este aspecto, diversos investigadores en didáctica (Álvarez Pérez et al., 2017; Astolfi, 1994; González Galli, 2011) proponen fomentar el desarrollo, por parte de los estudiantes, de una «vigilancia metacognitiva» sobre los obstáculos, esto es, un conocimiento consciente sobre dichos obstáculos y una capacidad para regular su funcionamiento.

En función de esto, en este trabajo nos preguntamos cuáles son las características de los procesos de regulación que ocurren durante una secuencia didáctica basada en la modelización y en la metacognición sobre los obstáculos epistemológicos. Esta caracterización de las regulaciones que tienen lugar permitiría pensar en nuevas estrategias de enseñanza que tiendan a favorecer la metacognición en las clases de biología.

MARCO TEÓRICO

Los obstáculos epistemológicos y su tratamiento didáctico

Astolfi (1994, 2003) propone que el obstáculo epistemológico es un tipo de conocimiento ya disponible, a menudo instalado desde hace mucho tiempo en la mente de los sujetos y que, lejos de ser una dificultad como proponía el epistemólogo Gastón Bachelard, representa un modo de pensar económico, cómodo y funcional para el sujeto. Se han llevado a cabo diversas investigaciones sobre los OE en relación con diferentes contenidos de ciencias (Álvarez Pérez et al., 2017; Cruz, 1998; Garófalo et al., 2014).

Podemos caracterizar los OE como modos de razonar que cumplen con tres características (González Galli y Meinardi, 2011, 2015, 2016):

1. Optamos por esta forma de escritura, para una fácil lectura, aunque somos conscientes de que estas dejan por fuera muchas expresiones de género conocidas o por conocer.

1. Transversalidad. Tienen cierto grado de generalidad en cuanto a los fenómenos que permiten explicar. De esta manera subyacen a concepciones de diferentes dominios del conocimiento.
2. Funcionalidad. Tienen una función explicativa para el sujeto. Generan un entramado entre los conceptos con el cual los sujetos describen, explican y predicen el mundo en el que viven.
3. Conflictividad. Dificultan el aprendizaje y/o aceptación del modelo científico que se quiere enseñar, en tanto que explican el mismo fenómeno que explica el modelo científico de referencia.

En función de estas características, consideramos que un tratamiento didáctico centrado en el enfoque del cambio conceptual no resultaría lo más adecuado, dado que las posibilidades de eliminar estos modos de pensar o de modificarlos radicalmente serían muy limitadas. Dicha eliminación tampoco sería deseable si se tiene en cuenta que estos modos de pensar constituyen rasgos funcionales y constitutivos de la cognición humana (Inagaki y Hatano, 2006). Es por esto que para el tratamiento didáctico de los OE adoptamos una perspectiva tendiente al desarrollo de la mencionada vigilancia metacognitiva. Más precisamente para fomentar la consciencia en los estudiantes sobre los OE, así como una regulación de estos en el momento de construir o aplicar un modelo científico. Lo dicho no supone negar que la perspectiva basada en el cambio conceptual tenga un gran valor didáctico. En este sentido, podríamos considerar que el enfoque aquí adoptado constituye un complemento más que una alternativa en relación con la perspectiva del cambio conceptual. Así, el trabajo desde esta última perspectiva podría buscar operar sobre aquellos componentes de la estructura cognitiva que son susceptibles de ser eliminados o transformados sustancialmente mientras que el trabajo desde el enfoque de los OE podría estar orientado a la regulación consciente de aquellos componentes que es esperable que permanezcan.

Esta propuesta didáctica, a su vez, encuentra fundamentación en lo que los psicólogos cognitivos denominan «modelo de procesamiento dual de la mente» (Fletcher y Carruthers, 2012; Pozo, 2016). Según este modelo la toma de decisiones frente a una situación, está sujeta a dos sistemas: una ruta intuitiva de la toma de decisiones y una razonada. La ruta intuitiva implica un procesamiento de rápida respuesta que se caracteriza por ser inconsciente, automática y guiada por principios que son, en gran medida, innatos y universalmente fijados entre los humanos. En esta ruta pueden encontrarse los OE. La otra ruta corresponde al juicio reflexivo de carácter lento, consciente y asociado con altos niveles de control cognitivo. Esta ruta posee principios que varían entre los individuos y las culturas.

Ambos tipos de razonamiento trabajan en paralelo y, por lo tanto, son capaces de llegar a decisiones diferentes. Teniendo en cuenta que el juicio intuitivo (los OE) funciona automáticamente, los errores asociados y prejuicios que de él se desprenden solo pueden ser prevenidos a través de la cuidadosa regulación que permite el juicio reflexivo. Por lo tanto, un desafío clave del desarrollo implica el cultivo de habilidades de autorregulación que apoyen la conciencia metacognitiva y el control que, a menudo, son necesarias para el juicio reflexivo de alto nivel, así como el pensamiento crítico y colaborativo.

Pensando en el aula de ciencias, Astolfi y Peterfalvi (2001) proponen que el trabajo didáctico sobre los OE debería incluir diferentes instancias. Una de ellas correspondería a la desestabilización del obstáculo, que implica un primer momento de fortalecimiento transitorio del OE entre los miembros del grupo para luego poner en evidencia las limitaciones de esa forma de razonar. Otra instancia, la construcción (o reconstrucción) conceptual, implicaría la construcción del concepto (contrapunto conceptual al OE) y su campo de validez a partir de experiencias, analogías, problemas, etc. Finalmente, una instancia de identificación del OE que supone la capacidad de reconocer sus múltiples apariciones, dándole forma explícita y pudiendo nombrarlo. Esto también incluye una consciencia sobre el carácter transversal del obstáculo a partir de la comparación de producciones propias de los estudiantes, textos históricos, entre otros. Una propuesta de estos autores es la representación gráfica del obstáculo, por ejemplo mediante carteles que incorporen un nombre consensuado por el grupo-clase

para denominar al OE. Estos carteles estarán disponibles en el aula para evocar el obstáculo cuando se presente nuevamente.

Los procesos de regulación metacognitiva en el aula

Fomentar la conciencia y regulación de los OE es, en última instancia, fomentar procesos de metacognición en los estudiantes. La mayoría de los investigadores del área de la didáctica consideran a la metacognición como un pensar sobre el pensamiento y, dado esto, lo caracterizan a partir de dos dimensiones: conocimiento metacognitivo y regulación metacognitiva (Monereo et al., 2012; Pozo, 2016; solo por mencionar algunos). El conocimiento metacognitivo es aquel que tienen los sujetos sobre la cognición propia, de otros o general. Por su parte, la regulación metacognitiva involucra procesos de control ejecutivo de la propia cognición que ayudan al desarrollo de la tarea llevada a cabo y al aprendizaje.

La vigilancia metacognitiva sobre los obstáculos epistemológicos, que mencionábamos en el apartado anterior, implica desarrollar una capacidad de regulación sobre los obstáculos durante la construcción o el uso del modelo científico de interés. De esta manera, se espera que los estudiantes planifiquen el encuentro de los OE en ciertas expresiones, monitoreen dichos obstáculos cuando resuelven alguna situación con el modelo científico o puedan evaluar una explicación estando atentos a los OE que podrían haber dificultado o intervenido en la resolución.

Tradicionalmente, los estudios sobre la metacognición analizan el plano individual de estos procesos, no considerando al sistema social en el que se producen. Estos estudios presentan, por lo tanto, limitaciones para explicar el diverso abanico de regulaciones metacognitivas que emergen en ambientes colaborativos como puede ser un aula de clases. De esta manera surgieron múltiples nuevos enfoques que se incluyen en lo que se denomina «metacognición social» (Goos et al., 2002; Iiskala et al., 2004).

La metacognición social involucra aquellas expresiones de los estudiantes que están asociadas al conocimiento o a la regulación social del equipo, donde los mensajes de un miembro del grupo contribuyen a la discusión sobre la planificación, monitoreo o evaluación de la tarea y esto tiene efectos en la resolución de problemas grupales que otro miembro tiene en cuenta.

Los obstáculos epistemológicos en el aprendizaje de la biología evolutiva

Centrándonos en el caso particular de la biología evolutiva, podemos mencionar al menos ocho obstáculos epistemológicos (González Galli y Meinardi, 2016): teleología, esencialismo, razonamiento causal lineal, razonamiento centrado en el individuo, determinismo, progresividad del sentido común, antropomorfismo y vitalismo. En este artículo solo nos detendremos a explicar el primero, dada su relevancia dentro de la biología, así como de su enseñanza (González Galli, 2011; Mead y Scott, 2010; Smith, 2010).

La teleología o finalismo es un modo de razonar que implica suponer que un determinado fenómeno posee una finalidad. Para el caso de la biología, implica asumir que los procesos biológicos o las estructuras biológicas tienen una finalidad y se han originado debido a ella.

Este modo de razonamiento cumple con las tres características que mencionábamos antes para los OE. Es funcional en tanto que las formulaciones teleológicas tienen un valor heurístico: transforman largas formulaciones en otras más cortas, son como atajos; además, ayudan a organizar la información (Dorion, 2011).

El razonamiento teleológico puede subyacer a expresiones en múltiples dominios del conocimiento; es transversal. No solamente en biología encontramos expresiones finalistas, sino también en química (Talanquer, 2010) o incluso en ciencias sociales (Carretero, 2009).

Finalmente, estos razonamientos son conflictivos cuando se pretende que los estudiantes comprendan los modelos de la biología evolutiva. Esto es así porque el razonamiento teleológico implica suponer que las variaciones individuales emergen de un modo orientado a satisfacer las necesidades de los organismos y que el proceso evolutivo general está orientado hacia la consecución de ciertos fines, por ejemplo, hacia la aparición de ciertos linajes. Típicamente, la aparición de la especie humana constituiría la meta del proceso evolutivo para muchos estudiantes (González Galli, 2011; Mead y Scott, 2010). Estas suposiciones dificultan la comprensión de 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 sino que es aleatorio.

Recapitulando, el razonamiento teleológico, así como los otros OE identificados, no pueden ser eliminados. Es por ello que la propuesta didáctica se centra en fomentar el desarrollo de habilidades metacognitivas de conciencia y regulación sobre estos modos de razonar. Se espera que los estudiantes puedan detectar razonamientos finalistas, así como regular los propios o de otros sujetos cuando se está construyendo o utilizando el modelo científico.

ASPECTOS METODOLÓGICOS

La investigación que aquí presentamos es parte de una investigación más amplia sobre la enseñanza y el aprendizaje de modelos evolutivos en la escuela media, correspondiente a la tesis doctoral del primero de los autores. Dicha investigación adopta una metodología de tipo cualitativo-interpretativo. Particularmente, el diseño de investigación adoptado posee algunos elementos de la teoría fundamentada (Flick, 2007; Strauss y Corbin, 1990).

Desde este enfoque el investigador produce una explicación general o teoría, respecto de un fenómeno, a partir de la organización sistemática del conjunto de datos, identificando patrones de significados. Lo que se espera es que el investigador construya categorías que permitan entender lo obtenido en la empiria. Este proceso implica diversas fases que no se incluyen en este escrito para no extender el texto (véase Strauss y Corbin, 1990, o Braun y Clarke, 2013).

Hacia el final presentaremos también algunos análisis basados en la estadística descriptiva (Pérez Juste et al., 2009).

Instrumentos de recolección de datos

Para recolectar datos se implementó una secuencia didáctica formada por 21 actividades, basada en la modelización y la metacognición sobre los obstáculos epistemológicos. La propuesta didáctica estuvo orientada a la construcción del modelo de evolución por selección natural y el modelo de especiación alopátrica. En la tabla 1 se ofrece una breve descripción de la secuencia, un mayor detalle de esta se encuentra en Pérez et al. (2018). La secuencia se encuentra caracterizada a partir de los momentos definidos para una secuenciación por Sanmartí (2000).

Tabla 1.
Síntesis de la secuencia didáctica implementada

<i>Momentos</i>	<i>Act. n.º</i>	<i>Descripción de la actividad</i>	<i>Objetivos (en función del rol de los estudiantes)</i>
De exploración	1	Explicación de un caso concreto: la evolución del pelaje blanco en los lobos árticos.	Expliciten sus modelos sobre el cambio de las poblaciones a través del tiempo.
	2	Introducción a la unidad didáctica a partir de una presentación virtual	Conozcan la pregunta que se intentará responder en el desarrollo de la secuencia y los objetivos de aprendizaje. Revisen el esquema con las ideas iniciales obtenidas en la actividad 1 armado por el docente. Expliciten sus preguntas sobre evolución y sus sentimientos sobre el aprendizaje de esta.
	3	Discusión sobre publicidades que implican el término «evolución».	Expliciten sus concepciones sobre los significados coloquiales de la palabra evolución.
De evolución de los modelos iniciales	4	Observación de un video sobre una manada de lobos. Discusión de problemas en relación con la manada.	Conozcan la existencia de la variabilidad interindividual en los organismos. Comprendan que algunas características son heredables.
	5	Resolución de problemas a partir del relato de una manada de lobos.	Comprendan que el ambiente incluye factores que limitan la supervivencia y la reproducción de los organismos.
	6*	Lectura de un texto y trabajo con imágenes sobre una manada de lobos. Resolución de problemas utilizando las imágenes.	Comprendan que la probabilidad de reproducirse y sobrevivir en un ambiente dado depende de la interacción entre las características del individuo y las del medio. Comprendan el carácter aleatorio del origen de las variantes heredables.
	7*	Análisis de la analogía entre la selección artificial y la selección natural.	Construyan una primera versión del modelo de selección natural.
	8	Revisión de las respuestas de la actividad 1. Discusión explícita sobre el finalismo, su funcionalidad y conflictividad.	Reflexionen sobre las concepciones finalistas que aparecen en sus expresiones.
	9	Análisis crítico de una explicación de un alumno ficticio sobre el cambio del pelaje de lobos árticos a través del tiempo. Armado de base de orientación para problemas de evolución darwiniana.	Consensuen los criterios para una buena explicación darwiniana que se tomarán como referencia durante las clases posteriores.
	10	Resolución de un caso de especiación en cánidos. Lectura de texto de Borges «Funes, el memorioso». Discusión explícita sobre el esencialismo y su funcionalidad.	Comprendan que poblaciones aisladas reproductivamente por una barrera física siguen caminos evolutivos divergentes hasta que, eventualmente, constituyen especies nuevas. Comprendan la definición biológica de especie, sus alcances y limitaciones.
	11*	Discusión de frases populares sexistas y racistas. Discusión explícita sobre el esencialismo y su transversalidad.	Reflexionen metacognitivamente sobre el obstáculo esencialista.

<i>Momentos</i>	<i>Act. n.º</i>	<i>Descripción de la actividad</i>	<i>Objetivos (en función del rol de los estudiantes)</i>
De estructuración del conocimiento	12	Armado de fichas de estrategias.	Reflexionen metacognitivamente sobre las estrategias utilizadas para aprender.
	13	Actividad de «pensamiento en voz alta» para la explicación de dos casos evolutivos: resistencia de piojos al piojicida y aumento en el número de espinas de un arbusto. Discusión explícita sobre la transversalidad del finalismo.	Apliquen el modelo de evolución por selección natural a dos casos concretos y reflexionen explícitamente sobre las dificultades en su aplicación. Abstraigan el esquema generado en la actividad regulatoria.
	14*	Resolución de un caso evolutivo: Resistencia bacteriana a antibióticos.	Apliquen el modelo de evolución por selección natural a casos concretos para revisar si la abstracción realizada es útil.
	15	Coevaluación de esquemas de la «actividad regulatoria».	Coevalúen los distintos esquemas abstraídos.
De aplicación y transferencia	16*	Discusión sobre distintas representaciones de árboles evolutivos.	Comprendan la representación en forma de árbol utilizada en biología evolutiva. Reflexionen metacognitivamente sobre la idea de progreso.
	17	Armado de fichas de estrategias.	Reflexionen metacognitivamente sobre las analogías como estrategia de aprendizaje.
	18	Aplicaciones del modelo construido a diversas situaciones con un orden de complejidad creciente: evolución de peces ciegos, tolerancia a la lactosa en humanos.	Apliquen el modelo de evolución por selección natural y el modelo de especiación alopátrica construido para la resolución de problemas de diversas situaciones. Reflexionen metacognitivamente sobre otras formas de pensamiento (obstáculos) que no han sido tratadas en la secuencia.
	19	Discusión sobre publicidades que involucran el término «evolución».	Reflexionen sobre su conocimiento en relación con la evolución y aplíqueno a la crítica de imágenes o publicidades.
	20	Análisis de una analogía entre un viaje y el proceso de aprendizaje	Reflexionen sobre su proceso de aprendizaje durante toda la secuencia.
Postest	21	Explicación de dos casos concretos: el cambio del largo de las patas en el chita; evolución de mecanismos de defensa en humanos.	Expliciten sus modelos sobre fenómenos evolutivos.

*Actividad regulatoria (Se explicará más adelante).

Durante la secuencia didáctica se realizaron diversas actividades con el objetivo de fomentar la «vigilancia metacognitiva» en los estudiantes (actividades 8, 9, 10, 11, 13, 15, 16, 18, 20). Dichas actividades implicaron la discusión explícita sobre los modos de razonar de los estudiantes a partir de la revisión de las explicaciones de la actividad preinstruccional, la construcción de bases de orientación, la reflexión sobre el razonamiento teleológico y esencialista etiquetándolos para poder hablar explícitamente sobre ellos en la clase, entre otras (como mencionamos, para una descripción más exhaustiva puede verse Pérez et al., 2018).

Una tarea particular, que también permitió recabar instancias de «vigilancia metacognitiva» fue la «actividad regulatoria» (asteriscos en tabla 1). En esta tarea los estudiantes debían realizar dos consignas: (1) revisar y reelaborar un esquema conceptual que contiene las ideas iniciales del grupo-clase sobre el tema de estudio, en este caso la evolución biológica; y (2) elaborar una explicación a la evolución del pelaje de los lobos en función de los elementos construidos.

Durante toda la secuencia didáctica se reunieron diversos registros: explicaciones escritas de los estudiantes, dibujos realizados, grabaciones orales de las discusiones de las actividades en equipo, grabaciones de las puestas en común de las actividades, esquemas conceptuales elaborados por los equipos. Estos registros sirvieron para el análisis que se muestra posteriormente.

Población participante

De esta investigación participaron 80 estudiantes de una escuela de educación media de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA).

Estos estudiantes se encontraban divididos en tres grupos-clase compuestos por entre 23 y 29 alumnos pertenecientes al segundo año de la escuela media (en promedio 15 años). La secuencia didáctica implementada para la toma de datos se llevó a cabo durante tres meses y dos semanas. Anteriormente en estos grupos-clase la docente a cargo había trabajado contenidos como célula eucariota, estructuras y funciones, nutrición celular, ácidos nucleicos y leyes de Mendel solo por nombrar algunos.

Las clases fueron semanales y constaron de un bloque de 80 minutos y otro de 40. El aula se organizó, desde el punto de vista físico, con el objetivo de que los estudiantes pudiesen trabajar en equipos. Los equipos fueron formados por el investigador de manera azarosa, con un total de entre 5 y 6 equipos de 4-5 estudiantes por grupo-clase.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Con el objetivo de responder cuáles son las características de los procesos de regulación que ocurrieron durante la secuencia didáctica se construyeron las categorías que presentamos a continuación.

Categoría: señalamiento del obstáculo epistemológico

En esta categoría incluimos todas aquellas expresiones de los estudiantes en las que proponen que bajo una explicación (propia o ajena) subyace un obstáculo epistemológico. Posteriormente al señalamiento se podrá construir una explicación alternativa a aquella a la que subyace el obstáculo, pero no siempre es el caso.

A continuación se proponen dos ejemplos de este señalamiento, que corresponden a la actividad 9 de la secuencia didáctica. En dicha actividad se solicitaba a los estudiantes evaluar la explicación de un alumno ficticio sobre la evolución del pelaje de los lobos. Los estudiantes realizaron dicha evaluación marcando frases del alumno ficticio y explicando por qué dichas frases deberían corregirse.

Frase del alumno ficticio: «Mejoraron para sobrevivir al frío». Evaluación: no lo hacen para algo, porque no tienen la capacidad de razonar así que no lo hacen con una causa. No fue un cambio a propósito (Ismael).

Frase del alumno ficticio: «Debido al frío los lobos se volvieron todos con más pelaje». Evaluación: acá parece como si dijera que fuera por conveniencia, los lobos no eligen sus características (acá aparecería el pensamiento intencional) (Laura).

Ismael marca la frase del alumno ficticio «Mejoraron para sobrevivir al frío». En su evaluación él propone que los lobos no mejoraron para sobrevivir, que «No fue un cambio a propósito». Consideramos esta aclaración como un señalamiento del finalismo que subyace a la frase del compañero ficticio. La manera de señalar en este caso es implícita, dado que no se alude explícitamente a la teleología como forma de razonamiento.

2. Un señalamiento de tipo implícito, donde se realiza algún tipo de aclaración que no alude explícitamente al obstáculo epistemológico como modo de razonar pero que remite en última instancia a él.

Consideramos que en este último tipo de casos hay una conciencia sobre el OE dado que las aclaraciones corresponden a los obstáculos que se han trabajado en la secuencia didáctica, por lo que han sido foco de atención en varios momentos de ella. En este sentido no serían expresiones azarosas, sino que más bien darían cuenta de un señalamiento del OE.

Posteriormente al señalamiento se podrá construir una explicación alternativa utilizando los elementos teóricos, más cercanos a la perspectiva científica, construidos durante la secuencia didáctica, lo que consideramos un tipo de regulación más compleja como se mostrará en la siguiente categoría.

Categoría: Regulación individual compleja de los obstáculos epistemológicos

Esta categoría incluye todas las regulaciones que realizan los estudiantes sobre sus propias representaciones, en las que subyace un obstáculo epistemológico. Este tipo de regulación incluye dos componentes: señalamiento del obstáculo y explicación alternativa. Los señalamientos, como hemos mencionado, podrán ser de carácter implícito o explícito. La explicación alternativa, a aquellas en las que subyace el obstáculo, se construye a partir de los elementos teóricos trabajados durante la secuencia didáctica.

A continuación se ilustra la categoría con dos ejemplos. El primero de los ejemplos proviene de la actividad 9, luego de haber construido una primera aproximación al modelo de selección natural. Allí los estudiantes debían explicar el cambio del pelaje de los lobos a través del tiempo. El segundo ejemplo se sitúa en la actividad postinstruccional donde los alumnos debían explicar un caso complejo hipotético, en este caso la evolución de un mecanismo de defensa en la especie humana.

Los antepasados de los lobos árticos fueron cambiando su pelaje a través del tiempo para poder adaptarse al clima. Por eso, los lobos árticos tienen ese tipo de pelaje que les resulta ventajoso para sobrevivir. Pero no fue algo que decidieron ellos, ya que no deciden con qué características nacer. Esos lobos antepasados que se reprodujeron más que otros, tuvieron variantes ventajosas. A medida que pasa el tiempo la población va a tener individuos con características favorables (Ximena).

Al principio no tenían este mecanismo de defensa porque no habían sufrido ninguna mutación, no porque no lo necesitaran (PCGP). Con la utilización del fuego, al principio, el fuego no les provocaba dolor (no tenían mecanismo de defensa). Luego un individuo sufre una mutación que le hace sentir dolor con el fuego, pero es un mecanismo de defensa. Es una característica favorable y heredable. Este se reproduce más que los otros y la población pasa a tener mayormente esa característica a lo largo del tiempo (Paulo).

Ximena, hablando del pelaje de los lobos, indica que «no fue algo que decidieron ellos, ya que no deciden con qué características nacer». Consideramos aquí un señalamiento del finalismo de carácter implícito, en tanto que no se explicitan los modos de pensar que pueden subyacer. La estudiante genera una aclaración que intenta contradecir el supuesto finalismo en el origen de una variante. En el marco de una explicación evolutiva, consideramos que este tipo de aclaración da cuenta de una conciencia sobre este obstáculo. En el resto del texto la alumna construye una explicación alternativa que entendemos como un segundo elemento de la regulación. En este caso, Ximena incluye un fragmento de explicación finalista al indicar que el cambio del pelaje fue para adaptarse al clima («Los antepasados de los lobos árticos fueron cambiando su pelaje a través del tiempo para poder adaptarse al clima. Por eso, los lobos árticos tienen ese tipo de pelaje que les resulta ventajoso para sobrevivir»); pero también se incluyen otros elementos construidos durante la secuencia didáctica como la idea de reproducción

diferencial que se infiere cuando indica que «Esos lobos antepasados que se reprodujeron más que otros, tuvieron variantes ventajosas». En este sentido, la explicación alternativa construida incluye elementos que se han trabajado en las distintas actividades por las que transitó la alumna, pero también elementos que corresponden a sus propias concepciones alternativas.

En el caso de la explicación construida por Paulo, la identificación que realiza del obstáculo es explícita. En su relato propone que «Al principio no tenían este mecanismo de defensa porque no habían sufrido ninguna mutación, no porque no lo necesitaran (PCGP)». Las siglas entre paréntesis corresponden al «pensamiento de cambio generado por un propósito», nombre consensuado para el finalismo en el grupo-clase al que pertenecía el alumno. A su vez, Paulo construye una explicación alternativa al finalismo utilizando elementos como mutación o heredabilidad («Luego un individuo sufre una mutación que le hace sentir dolor con el fuego, pero es un mecanismo de defensa. Es una característica favorable y heredable») y reproducción diferencial («Este se reproduce más que los otros y la población pasa a tener mayormente esa característica a lo largo del tiempo»).

En los ejemplos presentados, quien regula es el propio sujeto, y dicha regulación está dirigida a sus propias explicaciones. En ambas explicaciones el señalamiento presentado por los estudiantes podría eliminarse sin resentirse la explicación alternativa construida. En este sentido podemos decir que los estudiantes intentan mostrar que están regulando, posiblemente porque esto ha sido parte fundamental de la secuencia didáctica.

Categoría: Regulación social compleja de los obstáculos epistemológicos

La presente categoría incluye aquellas regulaciones que se realizan sobre producciones de terceros, de individuos reales (durante la construcción de una explicación colaborativa) o ficticios (presentados por el docente). Al igual que en el caso de la regulación individual se incluye el señalamiento del obstáculo (explícito o implícito) en una producción ajena bajo la que subyace algún OE y una explicación alternativa utilizando diversos elementos construidos durante las actividades de la secuencia didáctica.

Los ejemplos que presentamos corresponden a discusiones en equipo en el marco de la «Actividad Regulatoria», explicada en el apartado de aspectos metodológicos.

- | | |
|-----------------|---|
| <i>Anya</i> | ¿Cómo podrías explicar que los lobos actuales tengan un pelaje blanco si sus antecesores no tenían el pelaje de este color? |
| <i>Bernardo</i> | Evolución (risas). |
| <i>Anya</i> | Ya dijimos que era mutación... |
| <i>Victoria</i> | Sí [...] Ponelo... |
| <i>Anya</i> | Debido a qué... (Anya comienza a escribir) |
| <i>Victoria</i> | El lobo blanco pudo haber nacido... por una mutación... |
| <i>Anya</i> | Una mutación... |
| <i>Victoria</i> | Coma, las cuáles son inconscientes... ¿Ponemos que también pudo haber sido que se adaptaron? No... |

- Equipo M.- 00:10-

- Tomás* Esto de «se adaptan con el fin de sobrevivir y reproducirse» ¿no es pensamiento de necesidad?
- Luz* Puede ser... Con el fin de... Es como que tiene la necesidad de... Podríamos cambiar «con el fin»... Pero ¿cómo ponemos? [...] Sobrevivir y reproducirse lo va a hacer, bueno algunos. Pero tenemos que explicar.
- Tomás* Los que se adaptan pueden sobrevivir más.
- Luz* Claro... Es que si ponemos para sobrevivir y reproducirse también es como un pensamiento de necesidad.
- Tomás* Los que sobreviven y se reproducen más, se adaptan más que... o sea, se adaptan y pueden sobrevivir más...
- Luz* O los que tienen características, o sea, características que se refieren con más cambios pueden sobrevivir y reproducirse. No sé.
- Tomás* Los que se adaptan pueden sobrevivir y reproducirse más.
- Luz* Sí.

- Equipo L.- 10:19-

En el primero de los ejemplos (Equipo M), ante la pregunta sobre la evolución del pelaje de los lobos, las estudiantes construyen una explicación utilizando el concepto de mutación. Hacia el final de la transcripción Victoria propone señalar el obstáculo finalista de manera implícita en la explicación que están construyendo, al indicar que las mutaciones «son inconscientes».

En el segundo caso (Equipo L), Tomás y Luz discuten sobre el esquema que deben modificar. Ambos aluden a que frases como «se adaptan con el fin de sobrevivir y reproducirse» o «para sobrevivir y reproducirse» se corresponden con un «Pensamiento de necesidad» (nombre consensuado para el finalismo en dicho grupo-clase). Hablar de esta manera, haciendo visible el pensamiento, podríamos considerarlo como un señalamiento explícito del obstáculo. Frente a ello, ensayan otras explicaciones utilizando elementos como variabilidad poblacional («Sobrevivir y reproducirse lo va a hacer, bueno algunos») y reproducción diferencial («Los que sobreviven y se reproducen más, se adaptan más que... o sea, se adaptan y pueden sobrevivir más...»).

En los casos que presentamos un individuo regula una explicación de otro, quien puede ser un compañero o bien una explicación consensuada colaborativamente registrada en un esquema. Como hemos indicado, esta regulación implica un señalamiento del obstáculo y una explicación alternativa que se construye a partir de elementos trabajados durante la secuencia.

Si bien estas actividades donde aparece la regulación social se encuentran enmarcadas en una secuencia basada en la regulación de los obstáculos epistemológicos, estas no tenían la finalidad de que los estudiantes regularan los obstáculos. Esto sucedió durante la construcción de una explicación en el marco de dichas actividades.

Análisis basados en estadística descriptiva

A continuación realizamos un análisis sobre las frecuencias de aparición del señalamiento de los obstáculos, así como de las regulaciones sociales e individuales complejas durante la secuencia didáctica.

La figura 2 muestra la frecuencia relativa de los ejemplos de la categoría «Señalamiento del obstáculo epistemológico» para distintas actividades de la secuencia didáctica. Solo se presentan aquellas actividades donde efectivamente se encontraron casos, lo que implica que en el resto de las actividades no se han registrado ejemplos de señalamiento.

Del gráfico (figura 2) podemos rescatar que la frecuencia de señalamientos implícitos y explícitos depende del tipo de actividad realizada. No es casual que en la actividad 8 la frecuencia de señalamientos (implícitos y explícitos) sea superior al resto de las actividades, dado que allí es donde se solicitaba a los estudiantes identificar el finalismo en producciones de sus compañeros.

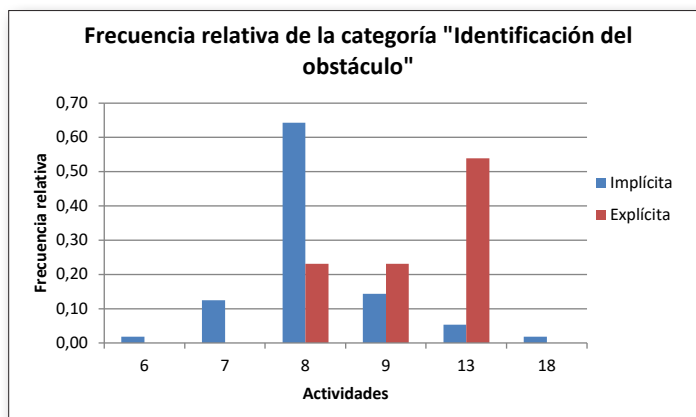


Fig. 2. Frecuencias relativa por actividad de la categoría «Identificación del obstáculo».

En la actividad 13 encontramos una mayor frecuencia de referencias explícitas a los obstáculos. En este caso los estudiantes trabajaron en pares, donde cada uno de los integrantes del par tuvo un rol asignado: el rol del «resolvidor» y el rol del «observador». El «resolvidor» debía explicar un caso en voz alta, indicando todo aquello «que le pase por la cabeza». El «observador», por su parte, tomaba nota de cómo su compañero resolvía el caso. Las referencias explícitas al obstáculo pueden haberse dado tanto por parte de quien resolvía, como de quien observaba al juzgar la resolución de su compañero (para un mayor detalle sobre este resultado véase Pérez et al., 2017). Consideramos que esta actividad supone una alta demanda cognitiva, dado que el alumno debía monitorear explícitamente el trabajo mientras lo estaba llevando adelante y, a su vez, comunicarlo a su compañero. Posiblemente este tipo de actividad fomentó la explicitación de los obstáculos más que otras.

La figura 3 muestra la frecuencia relativa de aparición para cada tipo de regulación (individual y social complejas) en distintas actividades llevadas adelante en la secuencia didáctica. Al igual que la figura anterior, solo se presentan las actividades donde efectivamente se encuentran incidentes, lo que implica que en el resto de las actividades no se han registrado regulaciones.

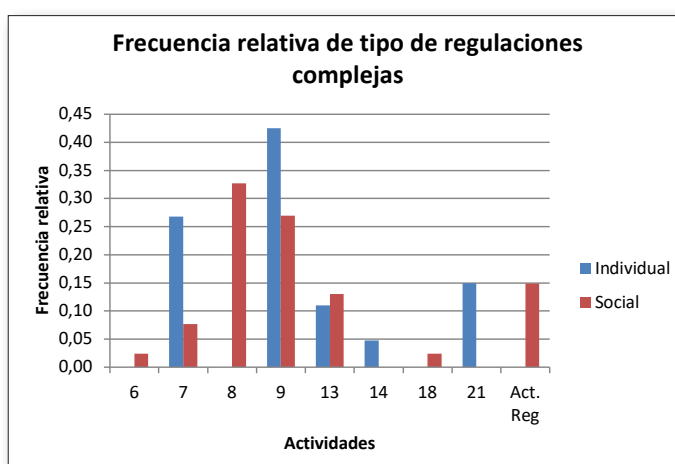


Fig. 3. Frecuencias relativas por actividad para cada tipo de regulación: individual y social. Total de incidentes: 127 regulación individual y 208 regulación social.

Si tomamos la frecuencia absoluta de cada tipo de regulación podemos indicar que durante la secuencia didáctica surgen más regulaciones de tipo social (208 casos) que regulaciones de tipo individual (127 casos). Hipotetizamos que esto se debe a que en el trabajo grupal se fuerza la necesidad de explicitar las regulaciones para informar a los demás, mientras que en el trabajo individual la regulación puede no hacerse explícita o bien estar automatizada.

Por otro lado, observamos que las frecuencias relativas de las regulaciones no aumentan de manera constante, sino que, dependiendo de la actividad, se expresan en mayor o en menor medida. Posiblemente esto se deba a que los distintos contextos de las actividades propician distintos tipos de regulaciones, así como la necesidad (o no) de hacerla explícita.

Por un lado, hemos encontrado regulaciones individuales en actividades donde los estudiantes:

- Señalaban semejanzas y diferencias entre la selección natural y la selección artificial (actividad 7).
- Construían bases de orientación en las que la regulación aparece como modo de planificar el encuentro con el obstáculo epistemológico (actividad 9).
- Resolvían un problema, esto es explican un caso (actividades 9, 13, 14, 21).

Por otro lado, las regulaciones sociales fueron encontradas en actividades donde los alumnos:

- Analizaban representaciones (en formato texto o dibujo) de otros sujetos (actividades 6, 7 y 8).
- Evaluaban la explicación de un alumno ficticio (actividad 9).
- Construían una explicación a un caso de manera colaborativa (actividad 18).
- Revisaban sus esquemas y dibujos previos y los modificaban en función de lo discutido hasta ese momento (actividad regulatoria).

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES EDUCATIVAS

En el inicio de este trabajo nos preguntamos cuáles son las características de los procesos de regulación del pensamiento que ocurren durante una secuencia didáctica basada en la modelización y en la metacognición sobre los obstáculos epistemológicos. Para responder dicha pregunta elaboramos una secuencia didáctica basada en los marcos teóricos que hemos esbozado al principio de este artículo. En función de lo analizado proponemos que los procesos de regulación que ocurrieron durante la puesta en práctica de la secuencia didáctica pueden, según el caso, incluir solo un señalamiento del OE o bien ser regulaciones de tipo complejo que además involucran la construcción de una explicación alternativa.

El señalamiento, por su parte, puede ser de carácter explícito o implícito. En el primero de los casos se realiza una aclaración aludiendo a que existe una forma de pensar que puede subyacer a la explicación. Por ejemplo, puede utilizarse la etiqueta consensuada por el grupo-clase para nombrar al OE: «pensamiento intencional», «pensamiento de necesidad», «pensamiento de cambio generado por un propósito», para referirse al finalismo. En el caso del señalamiento implícito, se realiza una aclaración que no alude directamente al modo de pensar sino que tal referencia se infiere a partir del contexto en que tuvo lugar la observación. En cualquiera de los casos, estas aclaraciones podrían eliminarse de la explicación y esta no perdería su coherencia. Consideramos que esto se debe a que los estudiantes están atentos a que deben demostrar que están regulando, dado que esta habilidad fue fomentada explícitamente durante la secuencia didáctica.

En las regulaciones de tipo complejo, además de incluir un señalamiento, se agrega una explicación alternativa a aquella en las que subyace el OE. Esta explicación se construye a partir de los elementos teóricos trabajados durante la secuencia didáctica, aunque también encontramos que en algunos casos puede incluir elementos asociados a las concepciones alternativas de los estudiantes.

Estos procesos de regulación pueden ocurrir de manera individual o social. En el primer caso, el estudiante regula sus propias explicaciones al señalar que en estas puede subyacer un OE. En el segundo caso, el estudiante regula representaciones de terceros (sujetos reales o ficticios) a las que subyace un OE.

El análisis de los procesos de regulación que encontramos en la secuencia didáctica permite delimitar algunas orientaciones didácticas. Por un lado parece necesario realizar diversos tipos de actividades tanto individuales como colaborativas, para fomentar que la regulación sea explícita y pueda convertirse en objeto de discusión en el aula. Esta consideración está asociada a lo que hemos discutido en el marco teórico sobre los enfoques individuales y sociales de la metacognición. Ejemplos de actividades son: construir explicaciones sobre casos concretos, discutir el grado de acuerdo con frases o explicaciones de otros sujetos (reales o ficticios), revisar las explicaciones iniciales tras un recorrido por la secuencia, revisar frases buscando explícitamente el obstáculo, construir bases de orientación, revisar y modificar producciones propias o grupales previas. Todos estos tipos de actividades son más demandantes, desde el punto de vista cognitivo, que las tradicionales, y es por ello que promueven el surgimiento de procesos metacognitivos (Iiskala et al., 2004; Volet et al., 2009).

El tránsito de los estudiantes por instancias individuales y sociales, además, permite participar de dos niveles de regulación que pueden retroalimentarse entre sí. Por ejemplo, las actividades en las que se solicita a los estudiantes tomar una posición con respecto a lo que dice otro sujeto pueden servir de insumo para la regulación social que aparece en los trabajos de construcción colaborativa de explicaciones. Y estas, a su vez, pueden servir como espacios de ensayo de la regulación de los propios modos de pensar.

Por otro lado consideramos que un buen punto de partida para trabajar sobre la regulación de los obstáculos es la atención puesta sobre los señalamientos que construyen espontáneamente los estudiantes. Estos señalamientos, aclaraciones o frases recurrentes permiten prestar atención al OE incluso antes de trabajar explícitamente sobre él. Pueden surgir o utilizarse socialmente y a su vez ser insumos para pensar en las regulaciones individuales. Creemos que el señalamiento de tipo implícito es un primer paso para la explicitación de los procesos metacognitivos. Proponemos, además, que los señalamientos podrían servir en otras instancias de educación no formal como guías de museos o videos educativos, dado que pueden ser maneras de regular (de forma implícita) los modos de pensar de los sujetos que reciben la información que estos transmiten.

Los procesos de regulación metacognitiva que encontramos durante la secuencia didáctica pueden ser considerados de carácter dominio-específicos dado que, por ejemplo, la regulación del finalismo se encuentra ligada a la construcción de explicaciones evolutivas. Es posible, sin embargo, que estas regulaciones aporten al desarrollo de habilidades metacognitivas de dominio general que puedan eventualmente aplicarse a otros dominios conceptuales (Gaskins y Elliot, 2005). Esta consideración queda como pregunta para continuar la línea de investigación que en este trabajo esbozamos, al igual que muchas otras como: ¿Qué diferencias existen en las regulaciones de los diferentes obstáculos epistemológicos? ¿De qué manera se relacionan las regulaciones de tipo individual y las de tipo social? ¿Todos los tipos de regulación del finalismo son iguales?

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) de Argentina y por la Universidad de Buenos Aires.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez Pérez, E., Hernández Rodríguez, M. y Esparza Soria, S. (2017). Obstáculos epistemológicos y núcleos problemáticos: dos enfoques de investigación en la didáctica de biología evolutiva. En Z. Monroy, R. León y G. Álvarez (Eds.), *Obstáculos epistemológicos en la enseñanza y el aprendizaje de la filosofía y de la ciencia* (pp. 79-91). México: UNAM, Facultad de Psicología.
- Álvarez Pérez, E. y Ruiz Gutiérrez, R. (2015). Proposal for Teaching Evolutionary Biology: A bridge between research and educational practice. *Journal of Biological Education*, 50(2), 123-146. <https://doi.org/10.1080/00219266.2015.1007887>
- 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.
- Astolfi, J. P. (2003). *Aprender en la escuela* (2.^a ed.). Chile: Comunicaciones Noreste Ltda.
- Astolfi, J. P. y Peterfalvi, B. (2001). Estrategias para trabajar los obstáculos: dispositivos y resortes. En A. Camilloni (Comp.), *Los obstáculos epistemológicos en la enseñanza* (pp. 191-223). Barcelona: Gedisa.
- Braun, V. y Clarke, V. (2013). *Successful qualitative research: A practical guide for beginners*. Los Ángeles: Sage.
- Carretero, M. (2009). *Constructivismo y Educación*. Buenos Aires: Paidós.
- Cruz, G. (1998). De los obstáculos epistemológicos a los conceptos estructurantes: una aproximación a la enseñanza-aprendizaje de la geología. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(2), 323-330.
- Dennett, D. (1999). *La peligrosa idea de Darwin. Evolución y significados de la vida*. Barcelona: Galaxia Gutenberg.
- Dorion, K. (2011). A Learner's Tactic: How secondary students' anthropomorphic language may support learning of abstract science concepts. *Electronic Journal of Science Education*, 15(2), 1-22.
- Fletcher, L. y Carruthers, P. (2012). Metacognition and reasoning. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 367(1594), 1366-1378. <https://doi.org/10.1098/rstb.2011.0413>
- Flick, U. (2007). *Introducción a la investigación cualitativa*. Madrid: Morata.
- Garófalo, S., Alonso, M. y Galagovsky, L. (2014). Nueva propuesta teórica sobre obstáculos epistemológicos de aprendizaje. El caso del metabolismo de los carbohidratos. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 155-171.
- Gaskins, I. y Elliot, T. (2005). *Cómo enseñar estrategias cognitivas en la escuela. El manual Benchmark para docentes*. Buenos Aires: Paidós.
- González Galli, L. (2011). *Obstáculos para el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural* (tesis doctoral). Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.
- González Galli, L. y Meinardi, E. (2011). The Role of Teleological Thinking in Learning the Darwinian Model of Evolution. *Evolution: Education and Outreach*, 4, 145-152. <https://doi.org/10.1007/s12052-010-0272-7>
- González Galli, L. y Meinardi, E. (2015). Obstáculos para el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural, en estudiantes de escuela secundaria de Argentina. *Ciência y Educação*, 21(1), 101-122. <http://dx.doi.org/10.1590/1516-731320150010007>
- González Galli, L. y Meinardi, E. (2016). Obstáculos para el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural. En N. Cuví, E. Sevilla, R. Ruíz y M. Puig-Samper (Eds.), *Evolucionismo en América y Europa* (pp. 463-476). Ecuador: Centro Publicaciones PUCE.

- Goos, M., Galbraith, P. y Renshaw, P. (2002). Socially mediated metacognition: Creating collaborative zones of proximal development in small group problem solving. *Educational Studies in Mathematics*, 49(2), 193-223.
<https://doi.org/10.1023/A:1016209010120>
- Iiskala, T., Vauras, M. y Lehtinen, E. (2004). Socially-shared metacognition in peer learning? *Hellenic Journal of Psychology*, 1, 147-178.
- Inagaki, K. y Hatano, G. (2006). Young children's conception of the biological world. *Current Directions in Psychological Science*, 15(4), 177-181.
- Mead, L. y Scott, E. (2010). Problem Concepts in Evolution Part I: Purpose and Design. *Evolution: Education and Outreach*, 3, 78-81.
<https://doi.org/10.1007/s12052-010-0210-8>
- Monereo, C., Castelló, M., Clariana, M., Palma, M. y Pérez, M. (2012). *Estrategias de enseñanza y aprendizaje* (2.ª ed.). Barcelona: Grao.
- Pérez, G., Gómez Galindo, A. y González Galli, L. (2017). Estrategias metacognitivas usadas por alumnos en la resolución de problemas de biología evolutiva. En *Actas del IX Congreso Iberoamericano de Educación Científica y del I Seminario de Inclusión Educativa y Sociodigital (CIEDUC 2017)* (pp. 266-276).
- Pérez G., Gómez Galindo, A. y González Galli, L. (2018). Enseñanza de la evolución: fundamentos para el diseño de una propuesta didáctica basada en la modelización y la metacognición sobre los obstáculos epistemológicos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(2), 2102.
https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i2.2102
- Pérez Juste, R., García Llamas, J., Gil Pascual, J. y Galán González, A. (2009). *Estadística aplicada a la educación*. Madrid: Pearson Education.
- Peterfalvi, B. (2001). Identificación de los obstáculos por parte de los alumnos. En A. Camilloni (Comp.), *Los obstáculos epistemológicos en la enseñanza* (pp. 127-168). Barcelona: Gedisa.
- Pozo, J. (2016). *Aprender en tiempos revueltos. La nueva ciencia del aprendizaje*. Madrid: Alianza.
- Sanmartí, N. (2000). El diseño de unidades didácticas. En F. Perales Palacios y P. Cañal de León (Eds.), *Didáctica de las Ciencias Experimentales* (pp. 239-266). Alcoy: Marfil.
- Smith, M. (2010). Current Status of Research in Teaching and Learning Evolution: II. Pedagogical Issues. *Science and Education*, 19, 539-571.
<https://doi.org/10.1007/s11191-009-9216-4>
- Stamos, D. (2008). *Evolución. Los grandes temas: sexo, raza, feminismo, religión y otras cuestiones*. Barcelona: Biblioteca Buridán.
- Strauss, A. y Corbin, J. (1990). *Basics of Qualitative Research: Grounded Theory Procedures and Techniques*. Newbury Park: Sage.
- Talanquer, V. (2010). Pensamiento intuitivo en química: suposiciones implícitas y reglas heurísticas. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(2), 165-174.
- Tamayo Alzate, O., Zona López, J. y Loaiza Zuluaga, Y. (2017). La metacognición como constituyente del pensamiento crítico en el aula de ciencias. *Tecné, Episteme y Didaxis*, número extraordinario, 1031-1036.
- Volet, S., Summers, M. y Thurman, J. (2009). High-level co-regulation in collaborative learning: How does it emerge and how is it sustained? *Learning and Instruction*, 19(2), 128-143.
<https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2008.03.001>
- Zohar, A. y Barzilai, S. (2013). A review of research on metacognition in science education: current and future directions. *Studies in Science Education*, 49(2), 121-169.
<https://doi.org/10.1080/03057267.2013.847261>

The regulation of epistemological obstacles in the learning of evolution

Gastón Pérez
Instituto de investigaciones CeFIEC.
Facultad de Ciencias Exactas
y Naturales. Universidad
de Buenos Aires. Argentina.
gastonperezbio@gmail.com

Alma Adrianna Gómez Galindo
Cinvestav Monterrey, México.
agomez@cinvestav.mx

Leonardo González Galli
Consejo Nacional de Investigaciones
Científicas y Técnicas (CONICET).
Buenos Aires. Argentina.
Instituto de investigaciones CeFIEC.
Facultad de Ciencias Exactas
y Naturales. Universidad de Buenos
Aires. Argentina.
leomgalli@gmail.com

Within the understanding of the models of evolutionary biology, different ways of reasoning influence learning such as teleology, essentialism, among others. These modes of reasoning or epistemological obstacles fulfill three characteristics: they are transversal since they have a certain degree of generality in terms of the phenomena that allow explaining; they are functional since they have an explanatory function for the person; they are conflicting because they hinder the learning and/or acceptance of the scientific model that we want to teach. To deal with this aspect, several researchers in didactic propose to encourage the development in students of a «metacognitive vigilance» about obstacles, that is, a conscious awareness of these obstacles and a capacity to regulate their functioning. Given its relevance within biology, as well as its teaching, in this work, we focus on teleology. This epistemological obstacle implies supposing that a certain phenomenon has a purpose. For the case of biology, it implies assuming that biological processes or biological structures have a purpose and have originated because of that.

The question that guided this work was: what are the characteristics of the regulatory processes that occur during a didactic sequence based on modeling and metacognition on epistemological obstacles?

To answer it, a qualitative-interpretative methodology was adopted. Particularly the research design possesses some elements of grounded theory. To collect the data, a didactic sequence based on modeling and metacognition on epistemological obstacles was implemented with 80 students from a middle school in Buenos Aires. The didactic proposal was oriented to construct the model of natural selection and allopatric speciation. The different activities were carried out to promote «metacognitive vigilance» in the students.

From the analysis of the collected data, we find a series of characteristics of the regulatory processes that occurred when implementing the didactic sequence. These characteristics allowed us to infer different ways of regulating epistemological obstacles. One of them is a type of regulation that can include only a pointing of the epistemological obstacle within some explanation. This indication may be of an explicit or implicit nature. In the first case, the students make a clarification alluding to the existence of a way of thinking, for example, teleology, which may underlie a certain explanation. In the case of implicit pointing, a clarification is made that does not directly allude to the way of thinking, for example, students can argue that animals do not obtain their characteristics because they need it. Another type of metacognitive regulation is what we have called complex regulations that, in addition to pointing, involve the construction of an alternative explanation to that where the epistemological obstacle lies. This explanation is constructed from the theoretical elements worked during the didactic sequence, although we also find that in some cases it can include elements associated with the misconceptions of the students.

Any of these types of regulation can occur individually or socially. In the first case, the student regulates his explanations by pointing out that an epistemological obstacle may lie behind them. In the second case, the student regulates representations of third parties (real or fictitious subjects) where an epistemological obstacle lies.

We consider that characterizing the processes of regulation of epistemological obstacles will allow delimiting some didactic orientations which are useful for the construction of future didactic sequences based on metacognition on epistemological obstacles.