



# Multimodalidad y regulación metacognitiva en el aprendizaje de la evolución

## Multimodality and Metacognitive Regulation in Learning Evolution

Gastón Pérez

*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.*

[gastonperez@ccpems.exactas.uba.ar](mailto:gastonperez@ccpems.exactas.uba.ar)

Alma Adrianna Gómez Galindo

*Cinvestav Monterrey. México.*

[agomez@cinvestav.mx](mailto: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](mailto:leomgalli@gmail.com)

**RESUMEN** • El aprendizaje de la evolución presenta múltiples dificultades, entre ellas ciertos modos de razonar u obstáculos epistemológicos. Estos obstáculos no son eliminables, por lo que se espera desarrollar en los estudiantes la habilidad de regularlos metacognitivamente al momento de aprender o utilizar un modelo científico. En este trabajo se analiza la relación entre dicha regulación y los diferentes modos de representar que pueden utilizarse en una clase de biología. A partir de un análisis multimodal, se examinaron las regulaciones que llevaron adelante estudiantes de Educación Secundaria Obligatoria en el marco de una secuencia didáctica para aprender evolución. Encontramos que modos de representar como la oralidad, los dibujos o los esquemas conceptuales poseen diferentes potencialidades para ayudar a la regulación metacognitiva de los obstáculos epistemológicos.

**PALABRAS CLAVE:** Enseñanza de la evolución; Obstáculos epistemológicos; Teleología; Esencialismo; Multimodalidad.

**ABSTRACT** • Learning about evolution presents multiple difficulties, including certain ways of reasoning or epistemological obstacles. These obstacles cannot be eliminated, so it is expected that students develop the ability to regulate them metacognitively when learning or using a scientific model. This paper analyzes the relationship between the metacognitive regulation and the different ways of representing that can be used in a biology class. From a multimodal analysis, the regulations carried out by students of compulsory secondary education in the framework of a didactic sequence to learn evolution were examined. We found that ways of representing such as orality, drawings or conceptual schemes have different potentialities to help metacognitive regulation of epistemological obstacles.

**KEYWORDS:** Teaching of evolution; Epistemological Obstacles; Teleology; Essentialism; Multimodality.

Recepción: febrero 2022 • Aceptación: enero 2023 • Publicación: marzo 2023

## INTRODUCCIÓN

El aprendizaje de los modelos de la biología evolutiva en la escuela obligatoria es fundamental para el desarrollo de ciudadanos críticos, ya que permiten explicar numerosas cuestiones relevantes de su vida cotidiana (Futuyma, 2009; Stamos, 2008). Solo por mencionar un ejemplo actual: comprender los modelos de la biología evolutiva ayuda a entender los procesos de mutación y propagación de virus como el SARS-CoV-2, lo que permitirá tomar decisiones de manera informada respecto de cuestiones como la vacunación u otros cuidados individuales.

Sin embargo, las investigaciones muestran que la enseñanza de la biología evolutiva reviste un desafío para los docentes. En general, se encuentra que, al finalizar la educación obligatoria, los estudiantes demuestran una pobre comprensión sobre estos modelos (Astolfi, 2003; Gómez Crespo, 2017; Johsua y Dupin, 2005). Esta situación puede deberse a distintas causas, entre ellas la persistencia de ciertas concepciones alternativas (Álvarez Pérez, 2017; De Vecchi y Giordan, 2006; González Galli y Meinardi, 2015; Jiménez Aleixandre, 2002).

Según diversas investigaciones, estas concepciones pueden ser entendidas como la expresión de ciertas formas de razonamiento denominadas obstáculos epistemológicos (OE). Estos modos de razonar no serían eliminables (como explicaremos más adelante), por lo que el tratamiento didáctico que se propone es fomentar en los estudiantes la habilidad de vigilar los OE de manera metacognitiva. Esto es, hacerse conscientes de su existencia y regularlos en el momento de construir o utilizar un modelo científico.

En anteriores trabajos hemos analizado distintos modos de regular los OE que utilizan estudiantes de educación secundaria (Pérez, 2020; Pérez et al., 2021). En este trabajo nos centraremos en otro aspecto de esta regulación metacognitiva que tiene que ver con la relación que se establece entre ella y los distintos modos de representación que pueden utilizarse en una clase de Biología. Sobre esta cuestión nos preguntamos cuál es la relación entre los procesos de regulación metacognitiva de los OE y los distintos modos de representación de las explicaciones construidas por los estudiantes a partir de los modelos de evolución por selección natural y especiación alopátrica.

Consideramos que analizar el rol que tienen los modos de representación y cómo favorecen (o no) la regulación metacognitiva de los OE puede ayudar a los docentes a construir mejores aprendizajes en la enseñanza de la biología evolutiva.

## MARCO TEÓRICO

### Obstáculos epistemológicos y vigilancia metacognitiva

Es común encontrar en las clases de evolución frases del tipo «las bacterias mutan para hacerse resistentes» o «si el clima cambia, las plantas y los animales tienen que adaptarse o extinguirse». Investigaciones del área de la didáctica de las ciencias proponen que estas frases pueden entenderse como expresiones que se originan en ciertos modos de razonar que tenemos los sujetos, los que pueden denominarse obstáculos epistemológicos (OE) (Astolfi, 2003; Johsua y Dupin, 2005; Peterfalvi, 2001).

Estos modos de razonar cumplen con tres características: (1) Son funcionales, en tanto que permiten a las personas describir, explicar y predecir fenómenos del mundo en el que viven; (2) son transversales, en el sentido de que subyacen tras explicaciones de diferentes dominios del conocimiento; y (3) son conflictivos, en el sentido en que las expresiones de dichos obstáculos pueden dificultar el aprendizaje o la aceptación del modelo científico que se quiere enseñar (González Galli y Meinardi, 2015). Para el caso de la enseñanza de la evolución se han descrito varios modos de razonar que podrían funcionar como OE, entre los que se encuentran el finalismo (Gresch, 2020; González Galli y

Meinardi, 2015; Silva et al., 2021; Werth y Allchin, 2020; Wingert y Hale, 2021) y el esencialismo (Gelman y Rhodes, 2012; González Galli et al., 2018; Wilkins, 2013).

El finalismo o la teleología implica pensar los fenómenos apelando a fines, metas u objetivos. Cuando este modo de razonamiento aparece en el ámbito de la biología, se ha de asumir que la existencia, el origen y las características de los procesos y estructuras biológicas responden a una cierta finalidad. Por un lado, este modo de razonar es funcional para las personas, en el sentido de que es como un «atajo» explicativo y ayuda a organizar información llenando aquello que no se conoce para hacer continua la narrativa de una explicación. Sin embargo, por otro lado, el razonamiento teleológico puede dificultar comprender –al menos– dos grandes ideas de la biología evolutiva. En primer lugar, impediría comprender que el origen de las variaciones heredables no está ligado a su valor adaptativo, ya que desde un marco de pensamiento teleológico el estudiante asume que las variaciones individuales emergen de un modo orientado a satisfacer las necesidades de los organismos. En segundo lugar, impide comprender que los cambios evolutivos obedecen a causas precedentes (y no a fines predeterminados o a necesidades), ya que el estudiante suele asumir que el proceso evolutivo general de divergencia, que generó la diversidad biológica que hoy conocemos, está orientado hacia la consecución de ciertos fines, hacia la aparición de ciertos linajes. Típicamente, la aparición de la especie humana constituiría la meta del proceso evolutivo.

El otro OE, el esencialismo, es la suposición de que ciertas categorías son reales y poseen una fuerza causal subyacente –la esencia de carácter inmutable– que es responsable de las características que comparten los miembros de la categoría. En biología, esta forma de clasificación implica pensar que cada organismo pertenece a una categoría definida por un conjunto de rasgos que son explicados a partir de su esencia inmutable. Este modo de razonar es muy útil para las personas, en tanto que sería una de las bases de los sistemas de clasificación que utilizamos día a día. Clasificar de manera esencialista nos permite hacer inferencias sobre la base de las categorías construidas. De esta manera, cuando se nos habla sobre algo que podemos haber categorizado, esta habilidad de categorización reduce el número de información que tenemos que procesar para dar una respuesta. Sin categorías, nada podría ser generalizado o aprendido, cualquier experiencia sería nueva e impredecible. No obstante, en el momento de aprender los modelos de la biología evolutiva, este modo de razonar se transforma en un problema por diversas razones. Por un lado, razonar de manera esencialista implica que la distinción entre especies se entiende como categórica más que como continua. Esto no permite comprender las categorías como construcciones ni la posibilidad de categorías intermedias. Por otro lado, razonar de manera esencialista implica ignorar la variabilidad, lo que presenta dos problemas: dificulta entender que la variabilidad es necesaria para que la selección natural actúe y, aunque se asuma esa variabilidad, una perspectiva esencialista tiende a considerarla superficial en comparación con la esencia subyacente inmutable.

En la tabla 1 se sintetiza lo presentado sobre estos dos OE en función de la propuesta de Astolfi (2003). Allí se indican ideas de los estudiantes que podrían considerarse expresiones del OE, también se incluye qué nociones de los modelos científicos de la biología evolutiva dificulta comprender el OE y, por último, cuál es la idea que se quiere construir –coherente con el modelo científico que debe enseñarse–.

Tabla 1.  
Obstáculos epistemológicos que dificultan el aprendizaje de los modelos evolutivos

<i>Obstáculo: teleología</i>		
Definición: Todos los procesos y estructuras biológicas responden a un fin (frecuentemente la supervivencia).		
Ideas de los estudiantes	Lo que el obstáculo impide comprender	Idea a construir
Las bacterias mutan para hacerse resistentes. Los osos polares se volvieron blancos porque necesitaban camuflarse.	El origen de las variaciones heredables no está ligado a su valor adaptativo. Los cambios evolutivos obedecen a causas precedentes (y no a fines predeterminados o a necesidades).	Todos los procesos y estructuras biológicas responden a causas eficientes que los preceden.
<i>Obstáculo: esencialismo</i>		
Definición: Cada individuo pertenece a una categoría definida por un conjunto de rasgos que son explicados a partir de su esencia inmutable.		
Ideas de los estudiantes	Lo que el obstáculo impide comprender	Idea a construir
Una ballena no puede ser un mamífero porque vive en el agua. Las hormigas son todas iguales, casi no tienen diferencias. Como cada célula del organismo tiene diferentes características deben tener diferente ADN.	Existe una variación continua en la naturaleza. Existe una ubicua variación interindividual y esta es relevante para la evolución. Las nuevas especies se originan como lo que inicialmente eran, variedades de otras especies.	Las categorías de la taxonomía intuitiva y la científica son arbitrarias y las entidades designadas por estas categorías son cambiantes.

Como mencionamos antes, los OE cumplen una función en la cognición de los sujetos. Investigaciones en psicología cognitiva sugieren que estos modos de razonar son rasgos propios de la cognición humana, o sea de la «biología intuitiva» (Coley y Muratore, 2012; Inagaki y Hatano, 2006). Es por ello que serán limitadas las posibilidades de eliminarlos o modificarlos radicalmente. Dada esta situación, los investigadores proponen fomentar en los estudiantes el desarrollo de una vigilancia metacognitiva sobre los OE (Astolfi y Peterfalvi, 2001; Pérez et al., 2022; Peterfalvi, 2001; Ronfard et al., 2021). Esta vigilancia implica, al menos, dos cuestiones. Por un lado, que los estudiantes se hagan conscientes de dichos modos de razonar y conozcan su función en la cognición, el carácter transversal de los mismos y su conflictividad en el momento de aprender los modelos científicos. Por otro lado, que desarrollen la capacidad de regular metacognitivamente los OE durante la construcción o el uso del modelo científico de interés. Esta regulación involucrará procesos de planificación del encuentro con dichos OE, de monitorización de estos modos de pensar cuando se resuelve alguna situación problemática y de evaluación del trabajo realizado. Será fundamental para el desarrollo de esta capacidad hacer «visible» el pensamiento (Ritchhart et al., 2014), de manera que se explicita en el aula el modo de razonar y que se vuelva objeto de discusión.

### Multimodalidad en el aula de ciencias

Tradicionalmente en las clases de ciencias de educación secundaria ha preponderado una visión monomodal de la comunicación centrada en la oralidad o en la escritura (Izquierdo et al., 2003; Márquez et al., 2006). De esta manera, se han ignorado otros modos de comunicación, como los dibujos. Además, cuando estos otros modos de expresión aparecen, suelen hacerlo de manera ilustrativa y no como verdaderos modos de representación que permitan aprender (Kress et al., 2001; Kress, 2010).

A pesar de esta situación, el uso de múltiples modos de comunicación constituye el estado normal de la comunicación humana. Kress (2010: 79) define la idea de «modo» como un recurso semiótico moldeado social y culturalmente, el cual habilita para construir significados. Ejemplos de estos modos son las imágenes, la escritura o el habla. Es común que en las explicaciones científicas se utilicen de manera conjunta diferentes modos, a este tipo de explicaciones se las denomina explicaciones multimodales (Gómez Galindo, 2008, 2013; Jaipal, 2010; Kress, 2010; Tamayo Alzate, 2006).

El uso de un determinado modo para representar está asociado a su estructura interna, que permitirá representar o transmitir información de manera distinta a otro modo. Así, el uso coordinado y dinámico de varios modos de representación para una misma explicación, posibilita una interacción entre ellos. Por ejemplo, la interacción puede ser de cooperación, cuando los distintos modos aluden a los mismos aspectos del modelo que se quiere representar, o de especialización, cuando los distintos modos aluden a aspectos diferentes (Izquierdo et al., 2003; Kress et al., 2001; Jaipal, 2010; Márquez et al., 2006). Retomando el caso de los dibujos, los investigadores consideran que poseen un gran potencial comunicativo para mostrar un escenario en el que pasan cosas, las relaciones de las partes con el todo o la simultaneidad y secuenciación de los procesos. La mayoría de estos aspectos serían más difíciles de comunicar a través de otros formatos, como un texto escrito o la oralidad (Gómez Llombart y Gavidia Catalán, 2015; Márquez, 2002).

En función de lo anterior, cabe resaltar que cada modo de representación tiene cierta potencia en relación con la comunicación de los aspectos del modelo científico que permite representar. Como mencionamos para el caso de los dibujos, cada modo de representación permitirá la explicitación de ciertos aspectos del modelo, y no así de otros. Esto se debe a que cada modo tiene una estructura interna diferente que está atravesada por aspectos culturales, sociales e históricos que han configurado la manera en que se puede construir significados a partir de ellos. Así, cada modo será capaz de construir determinados significados, pero no otros, lo que autores como Kress (2010) llaman «functional specialization». Esta característica permite seguir considerando la necesidad de utilizar diversos modos que articulen los significados que se desean construir en el aula.

## ASPECTOS METODOLÓGICOS

El objetivo de este trabajo es analizar la relación entre los procesos de regulación metacognitiva de los OE y los distintos modos de representación de las explicaciones construidas por estudiantes en el marco del aprendizaje de los modelos de evolución por selección natural y especiación alopátrica. Este trabajo es parte de una investigación más amplia correspondiente a la tesis doctoral del primer autor.

Para alcanzar el objetivo, el tipo de diseño de investigación adoptado es cualitativo-interpretativo (Creswell, 2012). En particular, hemos utilizado un análisis multimodal, (Kress, 2010), puesto que permite identificar las potencialidades de los diversos modos comunicativos en relación con la regulación metacognitiva de los OE.

### Participantes

Del presente estudio participaron ochenta estudiantes de entre 14 y 16 años que asisten a una escuela de educación secundaria, de gestión pública, de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. Dicha muestra fue por conveniencia, no probabilística y no aleatoria (Hernández Sampieri et al., 2014). Se trabajó con tres grupos-clase de entre 23 y 29 estudiantes cada uno, durante tres meses.

Los estudiantes y sus familias dieron un consentimiento informado dos meses antes de comenzar la investigación en el aula. En el consentimiento se explicitaba la importancia de las investigaciones en didáctica de la biología dentro de aulas reales y que esta se llevaría a cabo en el marco de una tesis doctoral.

## Instrumentos para la toma de datos

Para recolectar los datos se utilizó una secuencia didáctica basada en la modelización escolar, con énfasis en el desarrollo de la vigilancia metacognitiva. Por limitaciones de espacio en este artículo solo mencionaremos algunas particularidades de la secuencia que están asociadas al análisis que aquí elaboramos. Para conocer en profundidad la propuesta sugerimos revisar trabajos ya publicados (Pérez et al., 2018; Pérez, 2020).

La secuencia didáctica implementada constó de 21 actividades basadas en la propuesta de secuenciación de Sanmartí (2002), que estuvieron orientadas a la construcción del modelo de evolución por selección natural y del modelo de especiación alopátrica. Se comenzó con una actividad preinstruccional en la que se solicitó a los estudiantes explicar el cambio del pelaje de lobos árticos a través del tiempo, así como el origen de diferentes especies de cánidos. Estas explicaciones iniciales fueron utilizadas por el investigador para armar un único esquema conceptual de todo el grupo-clase, que luego, por grupos de estudiantes, fue revisado y modificado en diversas oportunidades dentro de la secuencia didáctica. En dichos momentos se les solicitaba que, en función de lo aprendido, en estos pequeños grupos, modificaran el esquema y volvieran a responder las preguntas de la actividad preinstruccional. Hacia la mitad de la secuencia didáctica, el caso de los lobos árticos se constituyó en el hecho paradigmático (Astolfi, 2003; Izquierdo, 2014) de la secuencia didáctica, sobre el que se construyó una primera aproximación a los modelos de selección natural y especiación alopátrica. Al finalizar la secuencia didáctica, se presentaron los diferentes esquemas reelaborados en cada grupo.

Durante la secuencia se trabajó —en nueve actividades— de manera explícita sobre la teleología y el esencialismo. Se analizaron las explicaciones de la actividad preinstruccional para identificar expresiones de la teleología o el esencialismo, se discutió sobre la funcionalidad y la transversalidad de estos modos de razonar, y se analizó su conflictividad con los modelos de la biología evolutiva, entre otras acciones. Además, se consensuó con el grupo-clase una etiqueta lingüística para referirse a cada uno de estos OE. Estos términos, elegidos por el estudiantado, se plasmaron en un cartel en el aula para facilitar la referencia a estos modos de razonar durante el resto del trabajo en clase.

La actividad que analizaremos en profundidad en este artículo se encontraba dentro del momento de síntesis y estructuración del conocimiento (Sanmartí, 2002) de la secuencia didáctica. Esta actividad tuvo como objetivo que los estudiantes aplicaran el modelo de evolución por selección natural, construido sobre el caso de los lobos árticos, a dos casos novedosos para ellos: la evolución de la resistencia al vinagre de los piojos (*Pediculus humanus capitis*) y la evolución de las espinas en el arbusto calafate (*Berberis microphylla*). Hemos seleccionado esta actividad de entre todas las de la secuencia porque es en ella donde los estudiantes echaron mano de diversos modos de representación para la construcción de explicaciones.

En la actividad se propuso una versión de la estrategia denominada «Pensamiento en voz alta» o «*Thinking aloud*» (Hartman, 2001). En este caso, los estudiantes trabajaron en parejas, en las que cada uno de los miembros tenía un rol asignado: el rol del «resolvidor» y el rol del «observador». El «resolvidor» debía escribir una explicación del caso asignado, mientras que en voz alta hacía explícitos todos sus pensamientos respecto de la construcción de dicha explicación. Mientras tanto, el «observador» tomaba nota de los pensamientos que su compañero verbalizaba. En este último rol, y como se verá en los análisis que siguen, muchas veces el estudiante no solo registra lo que verbaliza su compañero, sino que también agrega registros de las acciones.

Los roles de quien resolvía y de quien observaba se alternaron en cada uno de los dos casos. La consigna otorgada a los estudiantes se encuentra en figura 1.

Para resolver la actividad, los alumnos contaron con distintos elementos: sus apuntes de clases, los esquemas conceptuales que se fueron revisando a lo largo de la secuencia didáctica y los carteles en

la pared del aula con el nombre que se había negociado para llamar a los OE. Entendemos que estos elementos permiten distribuir la cognición y disminuir la demanda cognitiva de la actividad, lo que posibilita a los estudiantes enfocarse mejor en la demanda metacognitiva (Salomon, 1993).

“Resolvedores” y “Observadores”

Resuelvan los problemas según el rol asignado, aplicando el modelo de evolución por selección natural.

*Problema 1*

Hace varios años atrás las familias quitaban los piojos de sus hijos e hijas lavándoles la cabeza con vinagre. El vinagre era un potente insecticida contra los piojos. Sin embargo, hoy en día la mayoría de las familias coinciden en que el vinagre ya no tiene efecto sobre los piojos. ¿Por qué crees que actualmente el vinagre, que es el mismo que se utilizaba con éxito anteriormente, ya no tiene efecto?

*Problema 2*

El Calafate, además de ser una ciudad, es un arbusto propio de la Patagonia que produce unas ricas bayas carnosas. Dichas bayas son el alimento de diversos animales herbívoros. Antiguamente el arbusto Calafate no poseía espinas. Sin embargo, actualmente puede observarse que tienen espinas punzantes en todos sus tallos. ¿Cómo podrías explicar que antiguamente los arbustos Calafate no tenían espinas, pero que hoy sus descendientes tienen espinas?

Fig. 1. Consigna ofrecida a los estudiantes en la actividad de pensamiento en voz alta.

## Análisis multimodal

Para analizar la resolución de la actividad por parte de los estudiantes, se llevó adelante un análisis multimodal. Si bien existen distintos enfoques para este tipo de análisis (Jewitt, 2014), en este trabajo nos basamos en el enfoque de la semiótica social que propone el equipo del lingüista y semiótico Gunther Kress (Kress, 2010; Kress et al., 2001).

Se definieron como unidades de análisis el proceso de resolución de la actividad de pensamiento en voz alta, tanto la explicación en formato escrito construida por el «resolvedor» como la narración escrita de la observación realizada por el «observador» y los materiales utilizados para el desarrollo de la tarea (esquemas, dibujos, carteles, etc.).

Para el análisis desde la semiótica social se construyó una narrativa que describe, explica e interpreta la manera en la que los distintos modos de comunicación (oralidad, esquemas, dibujos y textos) interactúan, así como cuáles son sus potencialidades específicas en relación con la construcción de la explicación. Durante el análisis que se presentará se tuvieron en cuenta tres dimensiones. La primera se relaciona con el plano ideativo (elementos teóricos de los modelos construidos que los estudiantes desean comunicar), así como con el plano material (recursos utilizados por los estudiantes para la construcción de la explicación tales como esquemas, dibujos, u otros). La segunda dimensión corresponde al contexto en el que se utilizó el modo de comunicación o en el que se produjo la explicación multimodal. Desde esta perspectiva, las representaciones que crean los estudiantes tienen intereses particulares que son evocados por el contexto de uso. La tercera dimensión incluyó el análisis de las relaciones que se establecen entre los distintos modos de comunicación. El análisis de estas tres

dimensiones permite caracterizar las potencialidades de cada modo comunicativo en relación con la regulación de los OE.

Para lograr la validez de las interpretaciones y la confiabilidad de las ideas que se sostienen en el análisis, se realizaron triangulaciones de investigadores y de datos (Flick, 2007; Hernández Sampieri et al., 2014).

## RESULTADOS Y ANÁLISIS

En el marco del proceso de modelización llevado a cabo durante la secuencia didáctica, se trabajó desde una perspectiva multimodal. Esto es, se utilizaron diversos modos de representación de las explicaciones que construían los estudiantes. Estos modos fueron: la oralidad, el texto escrito, el dibujo y el esquema conceptual. En este apartado abordaremos la manera en la que se relacionan los procesos de regulación metacognitiva de los OE con los diferentes modos de representación de las explicaciones construidas a partir de los modelos de la biología evolutiva.

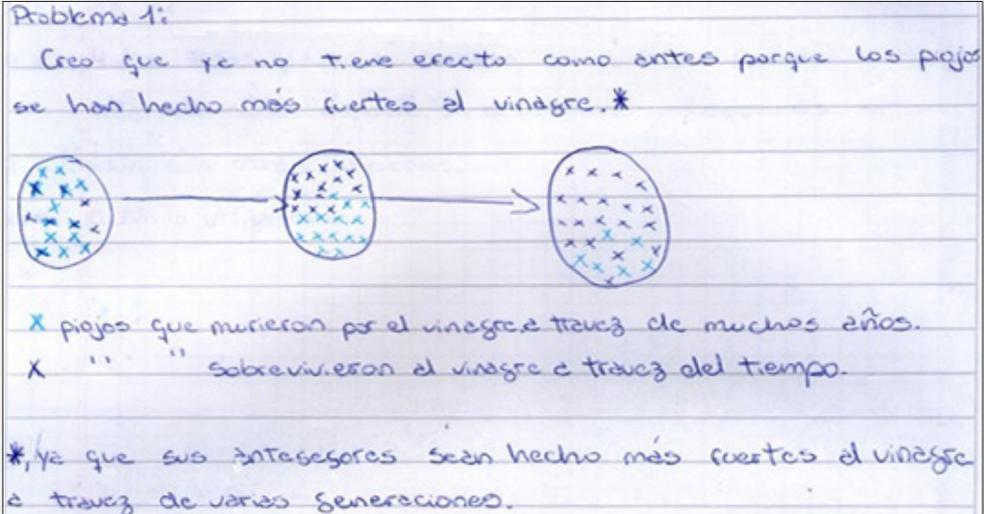
Presentaremos el análisis realizado poniendo el foco en cuatro modos de representación diferentes. En un primer momento abordaremos el rol que juegan los dibujos en el aprendizaje del modelo de selección natural. En un segundo momento nos centraremos en el papel que desempeñan los esquemas conceptuales en la elaboración de las explicaciones de los estudiantes. Finalmente, ahondaremos en la relación entre el modo oral y escrito que obliga a utilizar la actividad de pensamiento en voz alta. Si bien todos los modos de representación han estado presentes en el desarrollo de la actividad, se decidió analizar solo algunos de ellos en cada apartado. Dado que no disponemos de espacio para analizar todos los aspectos de la actividad, seleccionamos aquellos que son más informativos en relación con la actividad metacognitiva de los estudiantes.

Consideramos que estos tres apartados contribuirán a comprender las relaciones entre la regulación de los OE y los distintos modos de representación. En cada uno de ellos presentamos dos ejemplos. La selección de estos se debe a que muestran una variedad de relaciones entre modos de representación y regulación de los OE. En los materiales anexos de la tesis de Pérez (2020) pueden encontrarse ejemplos de otras actividades diferentes a las que aquí presentamos.

### El dibujo como modo de hacer visibles las ideas sobre la variabilidad poblacional

En la actividad que aquí es objeto de análisis, los dibujos surgen espontáneamente de los estudiantes. Si bien en diversos momentos de la secuencia habían sido utilizados, aquí son los alumnos quienes optan por explicar a partir de dibujos acompañados de textos escritos. En las tablas 2 y 3 se muestran dos explicaciones para el caso de los piojos construidas por el estudiante que cumplía el rol del «resolvedor», y también se incluyen las notas del estudiante que cumplía el rol del «observador».

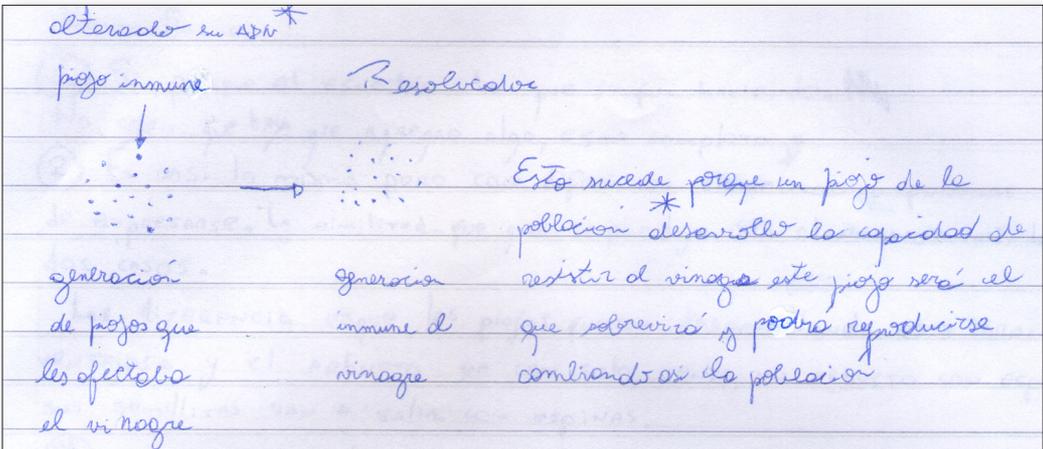
Tabla 2.  
Resolución de la actividad de pensamiento en voz alta de Susana y Federico

<i>Resolución (Susana)</i>	<i>Observación (Federico)</i>
<p>Creo que ya no tiene efecto como antes porque los piojos se han hecho más fuertes al vinagre. Ya que sus antecesores se han hecho más fuertes al vinagre a través de varias generaciones.</p>	<p>Está leyendo el caso. Está escribiendo lo que le parece que es la respuesta. Hizo un dibujo que explica cómo los piojos se hicieron más resistentes a través de los años. Puso referencias en el dibujo. Para ella se le hace más fácil explicar mediante un dibujo. Cree que ya terminó. Está revisando su trabajo para ver si tiene algún error. Se equivocó en algo y lo corrigió. Anotó algo que se olvidó de la explicación debajo de las referencias. Lo terminó.</p>
<i>Texto y dibujo de Susana (resolvidor)</i>	
	

Tanto Susana como Lautaro construyen una explicación multimodal que integra texto y dibujo. Susana (tabla 2) indica en su texto que «los piojos se han hecho más fuertes al vinagre», pero esta explicación no da cuenta del mecanismo por el que se fortalecieron. En este sentido, la explicación podría entenderse como la expresión del obstáculo finalista, por ejemplo. Sin embargo, el dibujo muestra que la explicación es más cercana al modelo de evolución por selección natural. En el dibujo aparecen otros elementos diferentes al texto, como la representación de una población, entendida como el conjunto de dos variantes representadas por cruces celestes y cruces azules.

A diferencia de Susana, la explicación que construye Lautaro (tabla 3) sí parece estar basada en el obstáculo finalista. Este OE se expresa en el supuesto de que el ADN se modificó según las necesidades del individuo. Además, menciona que un piojo «desarrolló la capacidad de resistir al vinagre» sin escribir en términos poblacionales, sino centrándose en el nivel individual. A pesar de no hablar de la población, esta sí aparece en el dibujo que realiza. Según el alumno, los puntos más gruesos representan a «piojo inmune alterado en su ADN».

Tabla 3.  
Resolución de la actividad de pensamiento en voz alta de Lautaro y Rubén

<i>Resolución (Lautaro)</i>	<i>Observación (Rubén)</i>
<p>Esto sucede porque un piojo de la población ha alterado su ADN, desarrolló la capacidad de resistir al vinagre. Este piojo será el que sobrevivirá y podrá reproducirse cambiando así la población.</p>	<p>Empieza a leer el caso. Empieza a hablar sobre que hace varios años atrás las familias lavaban sus cabezas con vinagre por los piojos. Pero en la actualidad ya no se lavan con vinagre ya que éste no es muy potente porque los piojos se fortalecieron. Ahora empieza a hacer un esquema sobre como los piojos fueron cambiando. En el esquema representa a los piojos como una población. Habla sobre que actualmente los piojos son más potentes sobre el vinagre ya que uno nació con características que lo hacen más repelentes al vinagre.</p>
<p><i>Texto y dibujo de Lautaro (resolvedor)</i></p>	
	

Rubén en su narración de la observación escribe que «En el esquema representa a los piojos como una población». Esta narración puede deberse a un análisis realizado por Rubén al observar las acciones de su compañero, o bien que Lautaro haya mencionado oralmente que iba a hacer un dibujo representando a los piojos como una población. Indistintamente de cuál sea el caso, cabe valorar que puedan explicitar la idea de población en el dibujo, cuestión que en el texto escrito parece no explicitarse.

En función de estos ejemplos, podemos considerar que el dibujo permite, por un lado, mostrar espacialmente la población y, por otro lado, representar la variabilidad que la constituye. Además, el dibujo nos permite entender cómo piensan que actúa la selección natural en relación con la variabilidad. Por ejemplo, en el caso de Susana se representa el proceso de supervivencia diferencial y por tanto de cambio en la proporción de individuos (representado por las cruces) a través del tiempo. En cambio, en el caso de Lautaro parecería que el proceso finaliza con una homogeneización de la población, en tanto que no aparecen variantes diferentes (todos los puntos son iguales). Así, ambos modos de representación (texto y dibujo) se entran, son interdependientes uno de otro, comunicando distintos aspectos del modelo construido. El dibujo se constituye en un modo comunicativo que permite destacar ciertos elementos relevantes del modelo científico escolar que construyeron los estudiantes, como la idea de variabilidad de una población o la distribución espacial, lo cual sería difícil de realizar en un texto escrito u oralmente.

Con relación a la regulación de los OE pueden considerarse dos cuestiones. Por un lado, no aparece en la resolución de la actividad de estos estudiantes una regulación explícita del esencialismo. No obstante, podemos inferir que, dado el contexto en el que se realizó el dibujo, los estudiantes pueden haber regulado el esencialismo de manera implícita para lograr representar la variabilidad poblacional.

Ahondaremos en esto más adelante. Por otro lado, consideramos que, en el contexto de la enseñanza de los modelos evolutivos, los dibujos permitirían habilitar a los docentes la discusión explícita sobre el esencialismo en relación con el concepto de variabilidad, lo que suele ser una de las dificultades encontradas en el aprendizaje de la evolución (Álvarez Pérez, 2017; Gelman y Rhodes, 2012; González Galli y Meinardi, 2015).

### El esquema como soporte que advierte sobre los obstáculos epistemológicos

Como hemos mencionado antes, para la realización de esta actividad los estudiantes tenían disponibles diversos materiales en los que podían apoyarse para resolver el problema planteado. Uno de ellos correspondía al esquema conceptual revisado. En este apartado presentaremos la solución al caso de los piojos de otro equipo de estudiantes: Fedra y Ciro; Alex y Bernardo. En este caso, Fedra utiliza el esquema para elaborar una explicación al caso de los piojos (rol de «resolvedor»), mientras que su compañero Ciro ocupaba el rol del «observador». En la tabla 4 se encuentra la resolución en modo texto construida por Fedra, el registro de Ciro y una sección del esquema utilizado, que es de interés para el análisis. En la tabla 5 se muestra la solución al caso del calafate por Alex y Bernardo

Tabla 4.  
Resolución de la actividad de pensamiento en voz alta de Fedra y Ciro

<i>Resolución (Fedra)</i>	<i>Observación (Ciro)</i>
<p>Creo que el vinagre ya no tiene el mismo efecto porque los piojos evolucionaron. Lo hicieron porque: Piojos eran una población con variedad en sus características. Algunos no sobrevivían con el vinagre y a otros tardaban más en morir o no se morían. Estos últimos al tener seguramente además de esa característica favorable contra el vinagre, tenían características que hicieron que se reprodujeran con más efectividad que los otros piojos. Esto fue a través de las generaciones. Los piojos no decidieron este cambio pero les sirvió para mantener la especie. Esto fue una mutación genética, estos piojos eran de la misma especie pero con características diferentes que hicieron que evolucionaran.</p>	<p>Primero lee el problema. Lee el esquema y compara los piojos de los lobos. Cree que los piojos son una población con variedad en sus características. Piensa que algunos piojos no sobrevivían al vinagre y otros aguantaban más sobre los efectos del vinagre. Cree que la parte de generación de nuevas especies no sirve (habla del esquema). Piensa que los piojos con características más favorables se reprodujeron. Esto no fue un cambio pensado pero les sirvió para mantener la especie.</p>
<i>Sección del esquema revisado</i>	
<p>El diagrama muestra un flujo de información: 'Sin un propósito' (1) apunta a 'Un individuo cambia su pelaje', lo cual 'Porque' (2) se debe a 'Necesita adaptarse al ambiente'. Esto se relaciona con 'Lobos' a través de 'ADN'. Se incluyen explicaciones como 'Se acostumbra al ambiente donde vive' y 'Para mejorar. Algunas cosas son para mejorar y otras no (Ana no)'. Se menciona que se reprodujeron con otro lobo de color más claro, lo que hizo que las crías salieran con pelaje más blanco, aumentando la cantidad de lobos blancos en la población. Se concluye que algunas características son hereditarias.</p>	

Tabla 5.  
Resolución de la actividad de pensamiento en voz alta de Alex y Bernardo

<i>Resolución (Alex)</i>	<i>Observación (Bernardo)</i>
Sus ancestros no tenían espinas punzantes, pero ocurre una mutación al azar que le sirvió, pero no fue voluntaria e hizo que el arbusto tuviera espinas para defenderse de diversos animales obteniendo características ventajosas.	Piensa, tiene una idea pequeña pero se le complica al desarrollarla. Se olvida, se le complica. Piensa lo que se habló en clase de la mutación al azar. Escribe, se traba, piensa. Lee el diagrama, lo compara y escribe. Piensa un poco más para ver si le falta algo pero cree que no y finaliza
<i>Sección del esquema revisado</i>	
<p>El diagrama muestra un flujo de información. En la base hay un recuadro con el texto "Lobos". Una flecha apunta hacia arriba a un recuadro que contiene "Todos los lobos cambian su pelaje" y "Un individuo cambia su pelaje". Desde este recuadro, una flecha apunta hacia arriba a "A Causa de". Desde "A Causa de", una flecha apunta hacia la izquierda a "Ambiente/Hábitat/ Clima/Ecosistema nevado" y otra hacia la derecha a "Una mutación que les sirve, pero no es voluntaria". Desde "Una mutación que les sirve, pero no es voluntaria", una flecha apunta hacia arriba a "Si un lobo marrón y un lobo blanco se cruzan, hay probabilidades de 50% y 50% de que la cría nazca marrón y blanca".</p>	

El esquema, que contiene una explicación sobre la evolución de los lobos árticos, sirve a los estudiantes en dos sentidos. En primer lugar, como un análogo del nuevo problema que se intenta explicar. En el caso de Fedra (tabla 4), el esquema basado en el caso de la evolución de los lobos le sirve para dar una explicación al caso de los piojos. Así lo verbaliza en dos momentos registrados por Ciro: «Lee el esquema y compara el de los piojos con el de los lobos» y «Cree que la parte de generación de nuevas especies no sirve (habla del diagrama)». En el caso de Alex (tabla 5), el esquema le sirve para dar una explicación al caso del calafate. Allí, Bernardo registra que «Lee el diagrama, lo compara y escribe». En ambos casos la comparación sirve entonces para rescatar elementos teóricos útiles que permiten resolver el problema de los piojos y descartar otros elementos que no le servirían.

En segundo lugar, el esquema les sirve a los estudiantes para fomentar la atención sobre el obstáculo finalista. Al observar el esquema que se presenta en la tabla 4, en el punto (1) marcado, vemos que aparece escrito «un individuo cambia su pelaje sin un propósito», y en el punto (2) está tachada la expresión «Necesita adaptarse al ambiente». Ambos ítems pueden entenderse como expresiones de la regulación del obstáculo finalista, lo que parecería ser de ayuda para la construcción de la aclaración del final de la explicación de Fedra («Los piojos no decidieron este cambio pero les sirvió para mantener la especie. Esto fue una mutación genética»). Ella misma verbaliza «Esto no fue un cambio pensado», según registra Ciro. En el caso del equipo de Alex y Bernardo (tabla 5), ocurre algo similar. En el esquema se menciona que «una mutación que le sirve, pero no es voluntaria», y esta misma frase aparece nuevamente en la explicación construida por Alex para el caso del calafate.

Lograr identificar (y utilizar) la idea de que las mutaciones son al azar y que no están dirigidas por un fin es relevante en el aprendizaje del modelo de selección natural, tal como hemos indicado en el marco teórico. Interpretamos esto como una regulación del obstáculo finalista. La evidencia de esto es

que los estudiantes escriben una aclaración en su explicación, la cual alude directamente al OE, aunque lo hace de manera implícita ya que no nombra al finalismo como tal. No obstante, este señalamiento de carácter implícito del finalismo implicaría una consciencia sobre este OE. Hemos presentado, en otros trabajos, otros modos diferentes de regular (Pérez et al., 2021).

En función de estos ejemplos, y de otros que por espacio no podemos presentar, podemos indicar que el esquema, en esta actividad, podría funcionar activando caminos de recuperación (Salomon, 1993). Esto es, redirigiendo los modos de pensar de los estudiantes. Así, las «advertencias» escritas en el esquema conceptual («un individuo cambia su pelaje sin un propósito» o «una mutación que le sirve, pero no es voluntaria») sugerirían a quien lo lee prestar atención sobre el finalismo, lo que podría facilitar su regulación. Es importante destacar que la capacidad de regulación es propia de todas las personas, en este caso de Fedra o Alex, pero que la utilización de ciertos soportes como el esquema, ayudarían a que la regulación se lleve adelante.

### El modo oral complementa al escrito posibilitando una regulación metacognitiva explícita

La actividad de pensamiento en voz alta obligaba a los estudiantes a comunicar sus ideas utilizando dos modos de comunicación distintos. Por un lado, el modo oral, cuando el «resolvedor» debía verbalizar de qué manera estaba construyendo su explicación. Por otro lado, el modo escrito en dos instancias, una de ellas cuando el «observador» registraba lo verbalizado (o actuado) por el «resolvedor» y otra de ellas cuando el «resolvedor» dejaba por escrito su explicación al caso.

Analizaremos aquí la resolución de la tarea llevada adelante por dos equipos. En la tabla 4 presentamos la resolución de Karina (rol de «resolvedor») y Agustina (rol de «observador»), mientras que en la tabla 5 presentamos la resolución de Amalia (rol de «resolvedor») y Lorena (rol de «observador»).

Tabla 6.  
Resolución de la actividad de pensamiento en voz alta de Karina y Agustina

<i>Resolución (Karina)</i>	<i>Observación (Agustina)</i>
Había muchas plantas de calafate. A una de ellas le salió una espina y cuando los animales iban a comer sus bayas no lastimaban tanto a la planta. Lo que hizo que ésta se reprodujera más que las otras y al fin de varias generaciones todas tengan espinas.	Lee ambos y elige un problema. Pensando. Usa lo que ya sabe. Una hojita hizo ¡plop! Y se hizo «semi-espina». No sabe. Mira el diagrama y se queda pensando. No sabe si elegir el camino fácil que es el «con motivo». Razona. Píde ayuda a Alan. Piensa. Empieza a pensar en voz alta para razonar. Explica qué sucedía con las plantas. La hojita plop. Empieza de nuevo. Vuelve a mirar el diagrama. Habla sobre los animales con la planta. Hace un dibujo sobre la planta. Fin.

Tabla 7.  
Resolución de la actividad de pensamiento en voz alta de Amalia y Lorena

<i>Resolución (Amalia)</i>	<i>Observación (Lorena)</i>
Al reproducirse estos piojos más tolerantes al vinagre (característica ventajosa al azar) lograron una población más. Simultáneamente se fueron produciendo productos para sacar piojos con más componentes y más potentes que el vinagre ya que los mataba al instante. Al ocurrir esto los piojos a través del tiempo fueron presentando mayor resistencia al vinagre lo cual no significa que hayan evolucionado para esto, sino que lo lograron a través de una característica ventajosa, la cual sería la «resistencia a los productos».	Lee la consigna. Dibuja y se traba. Se acuerda de los productos que se usan ahora y con los de antes. Anota la evolución de los piojos y como son ahora los productos para los piojos. Revisa lo que piensa. Tacha una palabra porque piensa que queda mejor dramáticamente. Agregar cosas porque considera que no cambian de un día para el otro. Borra porque dice que hizo un pensamiento con motivo. Pone otra conclusión de porque los piojos evolucionan y que lo fueron haciendo a través del tiempo. Resalta la palabra resistencia porque este es una de las características por lo cual lograron evolucionar más.

En los ejemplos presentados en las tablas 6 y 7, podemos inferir que la construcción de explicaciones en formato texto estuvo mediada por un proceso de regulación explícito. En el primer caso (tabla 6), de la observación realizada por Agustina podemos inferir que la construcción de la explicación de Karina estuvo mediada por un proceso de regulación explícito. Karina indicó verbalmente que no sabía qué camino elegir para resolver la actividad, distinguiendo un «camino fácil que es el “con motivo”» (etiqueta lingüística consensuada para el finalismo por el grupo-clase) de otro que correspondería a regular el finalismo. De esta manera, Karina muestra que es consciente de que existen dos caminos para resolver el problema, lo que permite inferir que la alumna construyó un conocimiento metacognitivo sobre el finalismo, asumiéndolo como un modo fácil de pensar. También resulta interesante que la estudiante muestre tener conciencia de que uno de los caminos resulta más «fácil» que el otro, ya que, en efecto, la explicación finalista, como parte del pensamiento intuitivo, requiere menos esfuerzo cognitivo que la alternativa basada en el modelo científico. Esto representa un conocimiento metacognitivo notablemente sofisticado, lo que evidencia la potencia de este tipo de actividades.

Por su parte, Amalia (tabla 7) escribe una explicación al caso de los piojos en la que podemos inferir que hay una regulación implícita del finalismo cuando indica «lo cual no significa que hayan evolucionado para esto». Sin embargo, podemos considerar que la escritura de esta aclaración estuvo atravesada por una regulación que fue explicitada oralmente. Esto último aparece en la observación que hace Lorena al indicar «Borra porque dice que hizo un pensamiento con motivo». Sobre este último caso, cabe reflexionar respecto del hecho de que muchas de las aclaraciones que realizan los estudiantes, que determinamos que corresponden a regulaciones de carácter implícito, podrían efectivamente serlas. Cuando «obligamos» a los estudiantes a verbalizar lo que piensan al construir la explicación, algunas regulaciones metacognitivas emergen de manera explícita.

En síntesis, utilizar el modo oral en esta actividad favoreció la expresión explícita de los procesos de regulación que subyacen a la construcción de una explicación. En el caso de Karina, su explicación no permite inferir procesos de regulación, a diferencia de la explicación de Amalia. En tal caso, consideramos que la utilización complementaria del modo oral podría dar al docente, y a quien ocupa el rol de observador, información sobre la manera en la que se construye la explicación. Los ejemplos planteados podrían ser un indicio de que ciertos procesos de regulación metacognitiva de los OE no aparecen en las explicaciones escritas de los estudiantes, no porque no estén ocurriendo sino porque tal vez están automatizados o no se percibe la necesidad de comunicarlos. Incluso esto podría estar ocurriendo en el primer ejemplo que presentamos, con el esencialismo.

En esta actividad concreta se obligaba a los estudiantes a comunicar los procesos de construcción de la explicación, lo que desembocó en una explicitación de la regulación que permitiría ser objeto de discusión para generar una retroalimentación positiva sobre esta (Veenman, 2012).

## CONCLUSIONES E IMPLICANCIAS DIDÁCTICAS

En este trabajo nos preguntamos cuál era la relación entre los procesos de regulación metacognitiva de los OE y los distintos modos de representación de las explicaciones construidas por los estudiantes a partir de los modelos de evolución por selección natural y especiación alopátrica.

Encontramos que el lenguaje oral –en el marco de una actividad de pensamiento en voz alta– permite hacer explícitas algunas de las regulaciones metacognitivas de los estudiantes. Consideramos que estas explicitaciones, por parte de quien construye la explicación, pueden servir a los estudiantes que «observan» para retroalimentar sus propios modos de regular. En este sentido, y tal como mencionan diversos autores (Hartman, 2001; Monereo et al., 2012; Ritchhart et al., 2014), la explicitación oral no solo daría transparencia al modo de construcción de las explicaciones de un sujeto –ayudándolo a que se haga consciente de cómo piensa–, sino que además serviría a modo de ejemplo para sus compañeros.

Por su parte, el esquema conceptual, que los estudiantes han revisado en el transcurso de la secuencia didáctica, se constituye en un soporte simbólico para algunas «advertencias» sobre los OE, que pueden ser utilizadas para regular los obstáculos en el momento de construir una explicación. Podríamos decir que funcionan como «camino de recuperación» (Salomon, 1993), en el sentido de que las frases escritas en el esquema les recuerdan a los estudiantes la atención que deben tener sobre ciertos OE, lo que a su vez funcionaría apoyando la construcción de la explicación. En estos casos, las frases que encontramos en los esquemas podrían no hacer alusión explícita al OE (no utilizar la etiqueta lingüística consensuada con el grupo-clase), sino ser un señalamiento o una aclaración que remite directamente al OE sin nombrarlo de manera explícita.

Por último, el dibujo permite representar la dimensión poblacional del proceso evolutivo y, más específicamente, facilita la idea de variabilidad en una población, así como el dinamismo del cambio evolutivo. Estas dos cuestiones son fundamentales para el aprendizaje de los modelos de la biología evolutiva, ya que se trata de dificultades reconocidas en la investigación para el aprendizaje de dichos modelos (Berzal de Pedrazzini y Barberá, 1993; Jiménez Tejada, 2012). En relación con la regulación, consideramos que este modo de comunicación puede ser útil en el abordaje del esencialismo, ya que permite a los estudiantes representar de manera diferente a los individuos y no como un conjunto de seres homogéneos. Sin embargo, en los dibujos analizados no aparecen regulaciones explícitas de ninguno de los OE, lo que puede deberse a la dificultad de explicitar las regulaciones en este formato o porque estas se encuentran automatizadas.

Consideramos fundamental destacar que se recurre escasamente a los dibujos en las aulas tradicionales de nivel medio, debido a que factores sociales, culturales e históricos los han dotado de un sentido que parecería no tener espacio en las clases como modos de construir significados (Kress et al., 2001; Kress, 2010). En nuestra propuesta, el dibujo se integra en la cultura del aula durante la secuencia didáctica, en un principio, de manera obligatoria. Sin embargo, es destacable que a medida que se avanza, los estudiantes construyen explicaciones multimodales integrando espontáneamente dibujos y texto. Es su decisión seleccionar y utilizar diversos modos de representación para comunicar una explicación. Siguiendo a Kress (2010), la utilización del dibujo resultó del moldeado social dentro de estas aulas específicamente y de la propia historia dentro de la secuencia didáctica.

En conclusión, sugerimos que usar varios modos comunicativos puede favorecer la regulación de los OE de distintas maneras. Más específicamente, siguiendo a Oh y Oh (2011), cabe recalcar que de la misma manera en que cada modo permite representar solo algunos elementos del modelo científico, también permitirá la discusión de ciertos OE, o de ciertos aspectos de un OE, y no de otros. Como mencionamos, el dibujo, por ejemplo, permitirá más fácilmente abordar el esencialismo, que quizás otro modo de comunicación.

## REFERENCIAS

- Álvarez Pérez, E. (2017). Enseñas en el camino de aprendizaje de biología evolutiva: fundamentos, propuesta y resultados. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra, 1717-1722.
- Astolfi, J. P. (2003). *Aprender en la escuela* (2.ª ed.). Chile: Comunicaciones Noreste Ltda.
- Astolfi, J. y Peterfalvi, B. (2001). Estrategias para trabajar los obstáculos: dispositivos y resortes. En Camilloni, A. (comp.), *Los obstáculos epistemológicos en la enseñanza* (pp. 191-223). Barcelona.
- Berzal de Pedrazzini, M. y Barberá, O. (1993). Ideas sobre el concepto biológico de población. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), 149-159.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4530>

- Coley, J. y Muratore, T. (2012). Trees, Fish, and Other Fictions. Folk biological thought and its implications for understanding evolutionary biology. En K. Rosengren, S. Brem, E. Evans y G. Sinatra (eds.), *Evolution Challenges. Integrating research and practice in teaching and learning about evolution* (pp. 22-46). Oxford University Press.
- Creswell, J. (2012). *Educational research. Planning, conducting, and evaluating quantitative and qualitative research*. Pearson.
- De Vecchi, G. y Giordan, A. (2006). *Guía práctica para la enseñanza científica*. Díada Editorial.
- Flick, U. (2007). *Introducción a la investigación cualitativa*. Morata.
- Futuyma, D. (2009). *Evolution*. Sinauer.
- Gelman, S. y Rhodes, M. (2012). Two-Thousand Years of Stasis. How psychological essentialism impedes evolutionary understanding. En K. Rosengren, S. Brem, E. Evans y G. Sinatra (eds.), *Evolution Challenges. Integrating research and practice in teaching and learning about evolution* (pp. 3-21). Oxford University Press.
- Gómez Galindo, A. (2008). Construcción de explicaciones multimodales: ¿Qué aportan los diversos registros semióticos? *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 4(2), 83-99.
- Gómez Galindo, A. (2013). Explicaciones narrativas y modelización en la enseñanza de la biología. *Enseñanza de las Ciencias*, 31(1), 11-28.
- Gómez Crespo, M. A. (2017). *¿Por qué enseño como enseño? Tres actividades para aprender Ciencias*. Madrid: Morata.
- Gómez Llombart, V. y Gavidia Catalán, V. (2015). Describir y dibujar en ciencias. La importancia del dibujo en las representaciones mentales del alumnado. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(3), 441-455.  
[http://dx.doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2015.v12.i3.04](http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2015.v12.i3.04)
- 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 & Educação*, 21(1), 101-122.  
<https://doi.org/10.1590/1516-731320150010007>
- González Galli, L., Pérez, G., Alegre, C. y Joelson, S. (2018). Explicaciones, concepciones y obstáculos sobre el origen de las especies en estudiantes de Escuela Secundaria de Argentina. *Ciência & Educação*, 24(3), 741-758.  
<https://doi.org/10.1590/1516-731320180030013>
- Gresch, H. (2020). Teleological explanations in evolution classes: video-based analyses of teaching and learning processes across a seventh-grade teaching unit. *Evo Edu Outreach*, 13(10).  
<https://doi.org/10.1186/s12052-020-00125-9>
- Hartman, H. (2001). Developing students' metacognitive knowledge and skills. En H. Hartman (ed.), *Metacognition in learning and instruction. Theory, research and practice* (pp. 33-68). Springer.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. y Baptista Luciano, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (6.ª edición). McGraw Hill.
- Inagaki, K. y Hatano, G. (2006). Young children's conception of the biological world. *Current Directions in Psychological Science*, 15(4), 177-181.  
<https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2006.00431.x>
- Izquierdo Aymerich, M., Márquez, C. y Espinet, M. (2003). Comunicación multimodal en la clase de ciencias: el ciclo del agua. *Enseñanza de las ciencias*, 21(3), 371-386.  
<http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3915>
- Izquierdo, M. (2014). Los modelos teóricos en la enseñanza de las «ciencias para todos» (ESO, nivel secundario). *Bio-grafía - Escritos sobre la Biología y su enseñanza*, 7(13), 69-85.  
<https://doi.org/10.17227/20271034.vol.7num.13bio-grafia69.85>

- Jaipal, K. (2010). Meaning making through multiple modalities in a biology classroom: A multimodal semiotics discourse analysis. *Science Education*, 94(1), 48-72.  
<http://dx.doi.org/10.1002/sce.20359>
- Jewitt, C. (2014). *The Routledge Handbook of Multimodal Analysis* (2.ª ed.). Routledge.
- Jiménez Aleixandre, M. P. (2002). Aplicar la idea de cambio biológico: ¿por qué hemos perdido olfato? *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 9(32), 48-55.
- Jiménez Tejada, M. (2012). Los conceptos de población y de especie en la enseñanza de la biología: concepciones, dificultades y perspectivas. *Enseñanza de las Ciencias*, 30(2), 243-246.  
<http://dx.doi.org/10.5565/rev/ec/v30n2.773>
- Johsua, S. y Dupin, J. (2005). *Introducción a la didáctica de las ciencias y la matemática*. Colihue.
- Kress, G. (2010). *Multimodality. A social semiotic approach to contemporary communication*. Routledge.
- Kress, G., Jewitt, C., Ogborn, J. y Tsatsarelis, C. (2001). *Multimodal teaching and learning: the rhetorics of the science classroom*. Continuum.
- Márquez, C. (2002). Dibujar en clase de ciencias. *Aula de Innovación educativa*, 117, 54-57.
- Márquez, C., Izquierdo, M. y Espinet, M. (2006). Multimodal science teachers' discourse in modeling the water cycle. *Science Education*, 90(2), 202-226.  
<http://dx.doi.org/10.1002/sce.20100>
- Monereo, C., Castelló, M., Clariana, M., Palma, M. y Pérez, M. (2012). *Estrategias de enseñanza y aprendizaje* (2.ª ed.). Grao.
- Oh, P. S. y Oh, S. J. (2011). What teachers of science need to know about models: An overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109-1130.  
<https://doi.org/10.1080/09500693.2010.502191>
- Pérez, G. (2020). *La regulación metacognitiva de los obstáculos epistemológicos en la construcción de modelos de biología evolutiva en la escuela media* [Tesis Doctoral. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales]. [http://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis\\_n6792\\_Perez](http://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis_n6792_Perez)
- Pérez, G., Gómez Galindo, A. 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](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i2.2102)
- Pérez, G., Gómez Galindo, A. y González Galli, L. (2021). La regulación de los obstáculos epistemológicos en la enseñanza y el aprendizaje de la evolución. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(1), 27-44.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2968>
- Pérez, G., Gómez Galindo, A. y González Galli, L. (2022). Metacognitive Regulation of Essentialism in the Teaching of Evolution. *Interdisciplinary Journal of Environmental and Science Education*, 18(4), e2295.  
<https://doi.org/10.21601/ijese/12223>
- 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.
- Ritchhart, R., Church, M. y Morrison, K. (2014). *Hacer visible el pensamiento*. Paidós.
- Ronfard, S., Brown, S., Doncaster, E. y Kelemen, D. (2021). Inhibiting intuition: Scaffolding children's theory construction about species evolution in the face of competing explanations. *Cognition*, 211.  
<https://doi.org/10.1016/j.cognition.2021.104635>
- Salomon, G. (1993). *Cogniciones distribuidas. Consideraciones psicológicas y educativas*. Amorrortu.
- Sanmartí, N. (2002). *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria*. Síntesis.

- Silva, H., Peñaloza, G., Michaels, R. y Carvalho, G. (2021). Teleological vs. Scientific views of evolution theory among high school biology teachers in Argentina, Brazil, and Uruguay. *Jurnal Bioedukatika*, 9(2), 61-74.  
<https://doi.org/10.26555/bioedukatika.v9i2.20715>
- Stamos, D. (2008). *Evolución. Los grandes temas: sexo, raza, feminismo, religión y otras cuestiones*. Biblioteca Buridán.
- 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.
- Veenman, M. (2012). *Metacognition in Science Education: Definitions, Constituents and Their Intricate Relation with Cognition*. En A. Zohar y Y Dori. (eds.), *Metacognition in Science Education. Trends in Current Research* (pp. 21-36). Springer.
- Werth, A. y Allchin, D. (2020). Teleology's long shadow. *Evolution: Education and Outreach*, 13(1), 1-11.  
<https://doi.org/10.1186/s12052-020-00118-8>
- Wilkins, J. (2013). Biological Essentialism and the Tidal Change of Natural Kinds. *Science & Education*, 22, 221-240.  
<https://doi.org/10.1007/s11191-012-9450-z>
- Wingert, J. y Hale, R. (2021). Teaching evolutionary principles in health promotion: A pilot study. *Pedagogy in Health Promotion*, 7(1), 60-70.  
<https://doi.org/10.1177%2F2373379920908611>

---

# Multimodality and Metacognitive Regulation in Learning Evolution

Gastón Pérez

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.

gastonperez@ccpems.exactas.uba.ar

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

In this article we explore the relationship between the metacognitive regulation of epistemological obstacles and the different modes of representation of the explanations constructed by the students from the models of evolution by natural selection and allopatric speciation. Epistemological obstacles are ways of reasoning that subjects have, which are not eliminable, so it is proposed to develop in students the ability to regulate them metacognitively when learning or using a scientific model. Examples of these obstacles are teleology or essentialism. Carrying out a multimodal analysis, we analyze the regulations of these epistemological obstacles made by students of secondary education in the framework of a didactic sequence to teach evolutionary models. We found that oral language makes it possible the explicitation of some of the students' metacognitive regulations, which can help other students to feedback their own ways of regulating. On the other hand, conceptual schemes can function as a symbolic support for some "warnings" about epistemological obstacles, which can be used to regulate them when building an explanation. Finally, the drawings allow students to represent the population dimension of the evolutionary process and, more specifically, the idea of variability in a population, which can be useful in the regulation of essentialism. In summary, we suggest that using various communicative modes can favor the regulation of epistemological obstacles in different ways. More specifically, in the same way that each mode of communication allows only some elements of the scientific model to be represented, it will also allow discussion of certain aspects of epistemological obstacles and not others.

