



Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias
ISSN: 1697-011X
revista.eureka@uca.es
Universidad de Cádiz
España

Modelos Científicos Escolares en estudiantado de secundaria ¿Cómo explican la evolución adaptativa?

Zambrano Abarzúa, Jecsan; Quintanilla-Gatica, Mario

Modelos Científicos Escolares en estudiantado de secundaria ¿Cómo explican la evolución adaptativa?

Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, vol. 20, núm. 2, 2023

Universidad de Cádiz, España

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92073956003>

DOI: https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2023.v20.i2.2102

Modelos Científicos Escolares en estudiantado de secundaria ¿Cómo explican la evolución adaptativa?

School Scientific Models in high school students. How do they explain adaptive evolution?

Jecsan Zambrano Abarzúa

Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación.

Santiago, Chile

jecsan.zambrano2014@umce.cl

 <https://orcid.org/0000-0001-5549-0578>

DOI: https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2023.v20.i2.2102

Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2023.v20.i2.2102

Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92073956003>

Mario Quintanilla-Gatica

Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile

mquintag@uc.cl

 <https://orcid.org/0000-0002-4411-7919>

Recepción: 21 Marzo 2022

Revisado: 15 Julio 2022

Aprobación: 05 Diciembre 2022

RESUMEN:

Se presentan los resultados de dos actividades realizadas durante una Unidad Didáctica sobre el *proceso de aprendizaje* del modelo de evolución por selección natural (MESN), lo que nos permitió recoger evidencia de los modelos científicos escolares (MCE) del estudiantado, a partir de sus narrativas. El objetivo de esta investigación es caracterizar los MCE iniciales y “finales”, a través de las concepciones o ideas que el estudiantado utiliza cuando explica problemas de evolución adaptativa. Se implementaron tres instrumentos de investigación en formato virtual debido a la pandemia: un cuestionario inicial y una entrevista semiestructurada, antes de la unidad didáctica, además, una evaluación escrita al final del proceso. El análisis de las explicaciones estudiantiles se realizó a través del método comparativo constante. Los resultados indican que, los MCE iniciales están caracterizados por las ideas de cambio individual, inducción ambiental y un carácter teleológico (finalista); mientras que los MCE finales se encuentran las ideas de variabilidad previa, relación variante-eficacia, como concepciones coherentes con el MESN, pero con la mantención de dos concepciones iniciales.

PALABRAS CLAVE: Modelos científicos escolares, Categorías de primer y segundo nivel, Explicación, Modelo de evolución por selección natural.

ABSTRACT:

We present the results of two activities carried out during a Didactic Unit on the learning process of the model of evolution by natural selection (MESN), which allowed us to collect evidence of the students' school scientific models (SCM), based on their narratives. The aim of this research is to characterise the initial and "final" SCMs, through the conceptions or ideas that students use when explaining problems of adaptive evolution. Three research instruments were implemented in virtual format due to the pandemic: an initial questionnaire and a semi-structured interview before the didactic unit, as well as a written evaluation at the end of the process. The analysis of the students' explanations was carried out using the constant comparative method. The results indicate that the initial SCMs are characterised by the ideas of individual change, environmental induction and a teleological (finalist) character; while the final SCMs are characterised by the ideas of prior variability, variant-effectiveness relationship, as conceptions coherent with the MESN, but with the maintenance of two initial conceptions.

KEYWORDS: school scientific models, Adaptative evolution, Explanation, Model of evolution by natural selection.

INTRODUCCIÓN

La Teoría de la Evolución (TE) es una de las ideas más influyentes y revolucionarias de la historia de las ciencias (González Galli, 2011; Soler, 2002), esto debido a que todos los sistemas biológicos son producto de los procesos evolutivos (González Galli, 2011; González Galli y Meinardi, 2015; Soler, 2002). Así, las explicaciones sobre la diversidad de organismos, semejanzas y diferencias entre las distintas clases, la distribución de las especies, su comportamiento, las interacciones, adaptaciones, entre otros, pueden ser comprendidas a través de las causas últimas (evolutivas), es decir, acerca de cómo fueron los procesos por los cuales se dio origen a estos sistemas (González Galli, 2011; Hernández *et al.*, 2009; Mayr, 2016; Soler, 2002).

A pesar de la importancia de la TE para mejorar la comprensión de la biología, diversas investigaciones han reportado que su enseñanza es compleja (Martínez y Rodríguez-Pineda, 2017). Así, Hernández *et al.* (2009), sentencian que, un número considerable de estudiantes mantiene concepciones alternativas que no son válidas desde un punto de vista científico, sean de secundaria o universitarios (González Galli, 2011), incluso después de los procesos de enseñanza-aprendizaje. Pérez *et al.* (2018) y Wingert *et al.* (2022), destacan que las principales dificultades son: las creencias religiosas, los obstáculos para el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural, entendimiento de escalas temporales, concepciones alternativas incompatibles con los modelos científicos y las ideas del sentido común.

El objetivo de esta comunicación, es caracterizar los MCE del estudiantado a través de las concepciones o ideas que les permiten explicar problemas de evolución adaptativa, antes y después de la implementación de una unidad didáctica (UD), cuyo propósito fue desarrollar y promover sus competencias explicativas acerca del *Modelo de Evolución por Selección Natural* (MESN), en un contexto de educación virtual debido a la pandemia de Covid-19.

La metodología fue principalmente cualitativa (Rodríguez *et al.*, 1999), específicamente sobre la interpretación de las producciones estudiantiles, mediante el método comparativo constante. Se implementaron tres instrumentos: cuestionario inicial (CI), entrevista semiestructurada (E) y una evaluación de biología (EB), que permitieron identificar las ideas o concepciones que el estudiantado expresa en sus propios relatos.

Cabe destacar que, en Chile no hay investigaciones específicas sobre la enseñanza-aprendizaje del MESN, que reporten y sistematicen evidencias como las que se comunican en este artículo. Por ejemplo, el potencial, y preliminar, análisis de las explicaciones del estudiantado, desde el marco teórico de las competencias del pensamiento científico (CPC) y la modelización en la enseñanza de las ciencias.

TEORÍA DE LA EVOLUCIÓN

Soler (2002), arguye que la biología evolutiva es una ciencia sumamente compleja debido a las interacciones que genera con otras disciplinas. Por esta razón, González Galli y Meinardi (2015), expresan que la evolución es mejor entendida desde una visión semántica, es decir, en vez de ser un conjunto de enunciados lógicamente conectados, se trata de una teoría que agrupa una familia de modelos que interaccionan entre sí de forma compleja y, que permiten explicar una gran cantidad de fenómenos diferentes.

Desde la teoría sintética de la evolución podemos destacar dos temas a los que pretende dar cuenta: (1) el origen de la adaptación biológica y (2) el origen de la diversidad biológica. De la construcción de estos dos modelos y los fenómenos que permiten explicar, es posible extender la comprensión a un tercer hecho (3) la historia de la vida (González Galli, 2010).

El modelo de evolución por selección natural

González Galli (2011), reconoce el modelo de evolución por selección natural (MESN) como uno de los principales de la TE, mas no el único. También sostiene que constituye la única teoría, con un alto consenso científico, capaz de explicar la adaptación de los seres vivos a su ambiente. Ello es coherente con lo planteado por Gould (2002) (citado en Gallardo, 2017), que manifiesta que la selección natural es parte fundamental de la biología evolutiva. Soler (2002), la define como un “proceso que limita la tasa reproductora (...) en relación con las características fenotípicas heredables, dando lugar a cambios en las frecuencias de los fenotipos de la población en generaciones futuras” (p. 127). Pero, como se argumentó anteriormente, lo esencial de las teorías no son sus enunciados, sino que los modelos que estas definen.

Por su parte, González Galli (2011) plantea que el MESN, se encuentra constituido por al menos cuatro submodelos: población, variación, herencia e interacciones ecológicas. Establece que la construcción del MESN requiere la comprensión de la variación heredable en el seno de la población, ya que esta última es la unidad de cambio. Además, las relaciones ecológicas en las que está involucrado el individuo, que le permitan indagar en las razones por las cuales ciertas características poseen una mayor eficacia biológica.

EXPLICACIONES SOBRE LA EVOLUCIÓN

Diversas son las concepciones que se identifican en las explicaciones y respuestas del estudiantado, en diferentes niveles educativos. Algunas de las más frecuentes son:

1. Explicación Lamarckista relacionada con el uso y desuso de los órganos (Charrier *et al.*, 2012; Jiménez Aleixandre, 1991; Sánchez *et al.*, 2017).
2. Los caracteres adquiridos se heredan (Charrier *et al.*, 2012).
3. Los cambios se producen en los individuos y no en las poblaciones (Charrier *et al.*, 2012).
4. Explicación teleológica de la adaptación de los seres vivos, como un proceso dirigido hacia una finalidad (Charrier *et al.*, 2012; González Galli, 2011; González-Galli *et al.*, 2020; Sánchez *et al.*, 2017, Wingert *et al.*, 2022).

Enseñar a explicar la evolución en el aula de secundaria

Una de las principales dificultades de la educación científica, radica en que los procesos de aprendizaje permanecen, aún, muy limitados. Una de sus finalidades es lograr que niñas, niños y jóvenes sean capaces de poner en marcha competencias de pensamiento científico (CPC), que les permitan dar coherencia a su pensamiento, discurso y acción sobre el mundo natural (Quintanilla-Gatica, 2012). La noción de CPC hace referencia a alguien que es capaz, que sabe, que tiene una capacidad reconocida para afrontar una situación y que posee un cierto grado de dominio de habilidades y recursos. Así, las CPC representan una combinación de atributos “en relación a conocimientos, habilidades, actitudes, valores y responsabilidades que describen los resultados de aprendizaje dentro de un programa educativo mucho más amplio y enriquecedor” (op. Cit., p. 23).

Entonces, una genuina actividad científica escolar debería estar orientada hacia diferentes componentes cognitivos lingüísticos, como la explicación, la argumentación, justificación, analogías, generación y puesta a prueba de hipótesis (Sanmartí, 2003), planteamiento de preguntas científicas (Joglar, 2014), entre otros, que puedan contribuir a la promoción de CPC y, al mismo tiempo, al desarrollo del pensar teórico (Quintanilla-Gatica, 2012; Sanmartí, 2003).

En esta investigación se hace explícita la importancia del desarrollo y promoción de la explicación como eje por el cual se pretende una apropiación efectiva del MESN, por parte del estudiantado, que les permitan

pensar sobre el mundo con teoría, interpretarlo, predecir y transformarlo. Sanmartí (2002), expresa que en la explicación se comunican las formas de entender, ya que es necesario que en este proceso se deba organizar el discurso, para hacerlo coherente y con sentido. Según concibe, al explicar, se deben construir *entidades*, como ejemplos, ideas, conceptos, relaciones, clasificaciones, procesos, etc.

Precisamente, en una explicación que dé cuenta del cambio de las especies a través del tiempo (evolución adaptativa) las *entidades* que se utilicen deberán ser coherentes con el hecho que se pretenda explicar. Por ejemplo, poblaciones, individuos, adaptación, analogías entre la selección natural, función, eficacia biológica, entre otras.

MODELOS Y MODELIZACIÓN. SU RELEVANCIA EN LA EXPLICACIÓN DE LA EVOLUCIÓN

La palabra modelo es polisémica en el lenguaje natural, la actividad científica y en la enseñanza de las ciencias, por lo que constituye un obstáculo para que el profesorado y el estudiantado puedan aprehender completamente su alcance (Adúriz-Bravo *et al.*, 2014). En consecuencia, es necesario puntualizar cómo concebimos la noción de *modelo* en este trabajo que pretende identificar y caracterizar los MCE sobre evolución.

Para Chamizo (2010), es posible identificar dos acepciones claramente definidas y generalizadas. Por un lado, un modelo es ejemplar, puesto que señala las características de aquella cosa, persona o idea que se pretende imitar, por ejemplo, la valentía de una guerrera, la solidaridad de un médico o la velocidad de una corredora, entre otros. Mientras, en su sentido epistemológico, concibe que “Los modelos (m) son representaciones, basadas generalmente en analogías, que se construyen contextualizando cierta porción de mundo (M), con un objetivo específico” (p. 26). Para este autor, cada palabra antes mencionada tiene un significado específico, que le entrega identidad y características determinadas. Además, destaca su significado:

- Las *representaciones* son fundamentalmente ideas, estas no son autoidentificantes, ya que son de un individuo o grupo que las identifica como tal.

- Una *analogía* son los rasgos, características o propiedades comunes entre el modelo (m) y el mundo real (M).

- *Que se construyen contextualizando*, hace referencia a un tiempo y a un lugar que enmarca una representación.

- *Cierta porción de mundo*, indica su carácter limitado.

- *Con un objetivo específico*, que establece su finalidad, como explicar, predecir, entre otros.

Así, Chamizo (2010), identifica tres tipos de clasificaciones, que no son mutuamente excluyentes (Fig. 1); los modelos pueden ser: (a) mentales, materiales o matemáticos, de acuerdo la analogía; (b) didácticos o científicos, según el contexto; (c) ideas, objetos, procesos o sistemas, en relación con la porción de mundo que representan.

Considerando esta clasificación; el dibujo de una célula sería un modelo material y didáctico sobre un sistema; el modelo de evolución, sería un modelo mental, científico o didáctico sobre un proceso.



FIGURA 1

Tipos de modelos de acuerdo a la analogía, contexto y porción de mundo (Chamizo, 2010, p. 28).

Adúriz-Bravo (2012), reconoce seis características claves de los modelos científicos que son relevantes para la educación química, pero pueden ser aplicados a otras ciencias. A saber:

- Se pueden clasificar según distintos criterios.
- Son modelos científicos-a-partir-de.
- Se construyen para unas determinadas finalidades y valores.
- Son análogos respecto a una realidad.
- Son construcciones teóricas.
- Los modelos median entre teoría y realidad.

Para Gómez (2005), los modelos pueden denominarse como: *modelos científicos eruditos* . *modelos científicos escolares* (MCE). Aquellos MCE que pretende construir el estudiantado, deben ser congruentes con los modelos científicos eruditos, pero es indispensable reconocer sus diferencias y particularidades. Son coherentes, ya que sirven para explicar fenómenos del mundo; tienen consistencia interna; se adecuan a los datos experimentales y modelos precedentes, de ahí la importancia de las ideas previas de los y las estudiantes como punto de partida para el aprendizaje; también son complejos (Gómez, 2005). Asimismo, las analogías, conceptos, ideas y metáforas que contiene el MCE, han de tener sentido para ellos y ellas, pueden estar expresados en otro lenguaje y poseer diferentes niveles de abstracción, las que no se corresponden, necesariamente, con la ciencia (Gómez, 2005).

Según Gómez (2005), las “entidades y relaciones [de los modelos científicos escolares] son equivalentes en el sentido que son unidades operaciones para pensar, comunicar y actuar” (p. 20), entonces es necesario que el estudiantado en una clase de ciencias sea capaz de conectar los *hechos* o fenómenos del mundo natural con las *ideas, entidades . relaciones* del modelo. Dicha conexión genera los *hechos científicos escolares*, para Izquierdo y Adúriz-Bravo (2001) (citado en Gómez, 2005), estos son la interpretación de los fenómenos del mundo a través de las ideas del MCE, que se construye estableciendo asociaciones entre las ideas y las experiencias del estudiantado.

METODOLOGÍA E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación se realizó a partir de un enfoque cualitativo, lo que implicó una orientación interpretativa y naturalista hacia el objeto de estudio, es decir, analizar las producciones estudiantiles en función de los

significados que le otorgaron los propios sujetos, en los contextos en los cuales se producían. No obstante, también se realizaron análisis desde una aproximación cuantitativa, principalmente analizando la frecuencia relativa y porcentual con la que se identificaron y definieron los significados de los sujetos (Rodríguez *et al.*, 1999).

Participantes y contexto socioeducativo de la investigación

La unidad didáctica (Sanmartí, 2002) y los instrumentos de investigación fueron implementados en dos cursos de primer año de enseñanza media obligatoria (13 y 14 años) y el tiempo destinado fue de 9 semanas, en las que se enviaron cinco guías de carácter formativo y una guía para la evaluación final y sumativa de los aprendizajes. Estas se distribuyeron cada 14 días e iban acompañadas de dos clases virtuales sincrónicas de 60 minutos aproximadamente. El promedio de estudiantes conectados(as) fue de 12, llegando incluso a conectarse sólo 4. Así, en este contexto, se seleccionaron a 2 estudiantes de cada curso, que habían participado activamente durante la UD en modalidad virtual, respondiendo y asistiendo de las instancias e instrumentos de la investigación. Adicionalmente, sus respuestas fueron amplias y completas.

Instrumentos de investigación

Se implementaron tres instrumentos en formato virtual. El primero, un cuestionario inicial (CI), a través de Google Forms, en el cual el estudiantado debió responder a dos problemas abiertos sobre evolución adaptativa. El segundo, una entrevista semiestructurada (E), a través de la plataforma Zoom, cuyo propósito fue ampliar y profundizar en las respuestas del CI. Ambos instrumentos se implementaron antes de dar inicio a la UD sobre el aprendizaje del MESN. Y, finalmente, una evaluación de biología (EB) (González Galli, 2011), al término de la unidad, que consistió en la aplicación de dos problemas abiertos, similares a los incluidos en el CI, que permitieran comparar el tránsito de las ideas y concepciones incluidas en sus producciones.

El CI, corresponde a una selección y adaptación de problemas que se han utilizado con anterioridad en otras investigaciones sobre las ideas previas del estudiantado de la evolución adaptativa o el cambio biológico (e.g. González Galli, 2011; Jiménez Aleixandre, 1991). Cabe destacar que los fundamentos teóricos orientadores para la reestructuración de los problemas corresponden a los referentes didácticos sobre los Planos del Pensamiento Científico (PPC) (Labarrere y Quintanilla, 2002) y Metodología Científica de Toulmin (1977).

Problemas sobre la evolución adaptativa

El problema 1 (P1) presenta la evolución de la resistencia de los piojos a los insecticidas que, luego de haberse empleado con efectividad en el pasado, ha perdido su potencial tóxico en el presente. Es posible clasificar este caso como el “origen de un rasgo morfológico o fisiológico simple que implica una ventaja en relación con la supervivencia del individuo” (González Galli *et al.*, 2018, p.80) donde las variantes se originan mediante un sólo cambio genético o mutación y no como una evolución de un rasgo complejo, como el ojo humano.

La consigna del problema (P1) fue la siguiente:

En un diario se publica:

“El 15% de los niños de una escuela del sur de Chile tuvieron piojos el último año. La causa exacta de las resientes epidemias es desconocida por las autoridades que investigan esta enfermedad, dado que las medidas de higiene se han incrementado, pero todos coinciden en que los insecticidas ya no tienen efecto sobre los piojos”.

¿Cómo explicarías que los insecticidas que se utilizaban con éxito anteriormente ya no tienen efecto?

El problema 2 (P2), presenta un caso de evolución adaptativa, en el cual una especie de peces ciegos evoluciona a partir de una población de peces con visión normal, pero en un ambiente totalmente oscuro. Es posible clasificar este problema como la “reducción o pérdida de un rasgo morfológico o fisiológico (evolución regresiva)” (González *et al.*, 2018, p. 81). A pesar de ser similar al caso anterior, tiene una dificultad mayor, ya que es difícil identificar cómo la pérdida de un rasgo puede contribuir a una ventaja en relación con la supervivencia y reproducción del individuo.

La consigna del problema (P2) fue la siguiente:

Un grupo de científicos encontraron una población de “peces ciegos” en un lago que se formó dentro de una cueva en la que no llega la luz solar, de modo que han pasado toda su vida en un ambiente totalmente oscuro. Todos estos peces tienen ojos muy pequeños y cubiertos por piel. Hoy sabemos, después de análisis en el ADN, que se originaron a partir de un grupo que tenían ojos bien desarrollados y una excelente visión.

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

La decisión de realizar entrevistas, tuvo por objetivo obtener información más profunda, acerca de las concepciones y modelos del estudiantado sobre la evolución de un rasgo adaptativo, de la que entregó el CI, debido a que la mayoría de las respuestas fueron poco informativas, puesto que, en función de su naturaleza poco específica y ambigua, no fueron representativas del pensamiento del estudiantado. En este sentido, las entrevistas responden a una necesidad de la investigación y se configuran como un instrumento complementario al CI, que permitió generar inferencias, sobre sus concepciones y MCE.

Goetz y LeCompte (1998), sugieren que las entrevistas deben ser tomadas a *informantes clave*, estos son “individuos en posesión de conocimientos, status o destrezas comunicativas especiales y que están dispuestas a cooperar con el investigador” (p. 134). Así, se definieron tres criterios para la selección de estudiantes clave: i) participación en el CI; ii) implicación sistemática en la actividad (número de sesiones efectivas de asistencia a las clases, entrega de evaluaciones, actividades, entre otras); y iii) por la extensión de sus narrativas en las respuestas del CI.

Se seleccionaron 12 estudiantes que cumplían con las características antes descritas, 6 de cada curso. Se procedió a invitarles a participar de la entrevistas. De estos, 10 accedieron a participar.

Finalmente se implementó el último instrumento, que corresponde a una evaluación de biología (EB), al final de la UD. En parte de esta evaluación, el estudiantado se enfrentó a dos problemas sobre la evolución adaptativa, adaptado de la unidad diseñada por González Galli (2011).

En la actividad 3 (act3) de la EB, el estudiantado se enfrentó a la resolución de un problema de *origen de un rasgo morfológico o fisiológico simple*. Así, se debió aplicar el modelo de evolución por selección natural (MESN) a un caso similar al problema de los piojos (P1). En la actividad 4 (act4), el estudiantado realizó una explicación a un caso de *reducción o pérdida de un rasgo morfológico o fisiológico simple*, similar al problema de los peces (P2). Mientras que la act3 representa un problema de adquisición de un rasgo adaptativo, la act4 se refiere a la pérdida de este.

La evaluación de biología fue enviada y subida a la plataforma del colegio, se realizó una clase en linea con el objetivo de presentarla y hacer énfasis en ciertos aspectos. Pasada una semana, se efectuó una siguiente clase virtual para resolver dudas de la propia resolución de la evaluación. Finalmente, el estudiantado tuvo cinco días, después de esta instancia, para enviarla.

Procesamiento y análisis de los datos

En un primer nivel, se sistematizaron todas las respuestas para cada uno de los problemas, entrevistas y actividades de la evaluación. En un segundo nivel, se redujeron los datos en función de diferentes criterios, que permitieron dar coherencia a los resultados obtenidos por los tres instrumentos. Una vez reducidos, estos fueron categorizados y ordenados para cada uno de los sujetos y problemas. Finalmente, el último nivel de procesamiento de los datos corresponde al análisis de los resultados sistematizados, reducidos y categorizados en las etapas anteriores.

Para la *sistematización*, se transcribieron las respuestas de 38 estudiantes que participaron del cuestionario inicial (CI), para el P1 y el P2, donde se obtuvieron 76 respuestas diferentes. Luego, se transcribieron las nueve entrevistas realizadas (3 horas de diálogos entre el investigador y estudiantado). Finalmente, se transcribieron las respuestas de la act3 y las act4 de la evaluación final. Sin embargo, en esta ocasión, se consideraron a los 38 estudiantes que participaron del primer instrumento.

Durante la etapa de *reducción*, seleccionamos las respuestas que tuvieron una mejor calidad de los datos para ser analizados. Esto no se refiere a la coherencia entre el modelo científico y las ideas del estudiantado, sino a la cantidad de información entregada y la riqueza semántica de las producciones estudiantiles. Según estos criterios, se seleccionaron a 4 estudiantes (A1, A2, A3 y A4), cuyos relatos entregaron diferentes y variados significados, además, la entrevista llegó a término. De esta manera, la calidad y cantidad de información de estas explicaciones fue superior a las otras.

Para la *categorización* de los datos, se reorganizó los resultados en diferentes tablas, a fin de presentar la información de una manera clara y con un criterio lógico. Una vez realizadas las tres primeras etapas de procesamiento de los datos, se procedió a realizar diversos análisis con el fin de cumplir los objetivos propuestos para la investigación.

Finalmente en la última etapa, se utilizó el *método comparativo constante* como estrategia para analizar los tres tipos de datos obtenidos por los instrumentos, que fue realizado y asistido por el software Atlas.ti. Este proceso de codificación se realizó en tres instancias iniciales: la *primera*, se codificaron fragmentos de las explicaciones estudiantiles en categorías abiertas (o de primer nivel); en la *segunda*, se compararon estas categorías y agruparon aquellas que se encontraban relacionadas, dando origen a categorías de segundo nivel, según Hernández *et al.* (2014), estas dos etapas son clave en los procesos de análisis de resultados cualitativos; por último, en una *tercera* instancia se identificaron los *patrones explicativos comunes para las categorías de segundo nivel*.

Para la codificación de categorías abiertas se siguieron las recomendaciones de Hernández *et al.* (2014) y Rodríguez *et al.* (1999). En primera instancia se definió una *unidad de análisis (incidente o fragmento)* en las respuestas estudiantiles y se asignó una categoría a la que perteneciera o hiciera referencia, generalmente una concepción o idea del estudiantado; luego, se definió un segundo fragmento y se comparó con el primero, si era similar al anterior en términos de significados, se integraba a la categoría y si no, daba origen a una nueva. Se realizó este paso para cada incidente reconocido, de esta manera fueron apareciendo diferentes categorías que quedaron definidas según los propios *fragmentos* agrupados. En una segunda instancia a cada categoría se le asignó un código que la identificó respecto a otras y que describe su significado.

Una vez definidas las categorías de primer nivel, el análisis se centró en la comparación de estas, donde se reconocieron similitudes y diferencias entre los significados, con el fin de revelar relaciones o temas comunes. El objetivo de este análisis corresponde a integrar categorías de primer nivel, en categorías de segundo nivel, más generales y con una *mayor amplitud conceptual para la explicación científica escolar*.

Localizar, descubrir y/o identificar categorías de segundo nivel, exigió inferir los *patrones explicativos en las producciones estudiantiles* en los tres instrumentos de investigación. Ellos, también es significativo para la comprensión de sus explicaciones, ya que no sólo utilizan las ideas de manera aislada, independientes unas de otras, sino que están lógicamente conectadas. Sobre las ideas, concepciones, temas más generales y los patrones explicativos, se infirió los *Modelos Científicos Escolares de Evolución*, en los distintos problemas y momentos.

A continuación, se muestra en la figura 2 un resumen de la metodología. Cabe recordar que, debido a la naturaleza de los datos y los análisis realizados, el proceso fue complejo, dinámico y permanente, se realizó en diferentes niveles y que, por la propia comparación constante de incidentes y categorías, estas etapas estuvieron superpuestas unas con otras.

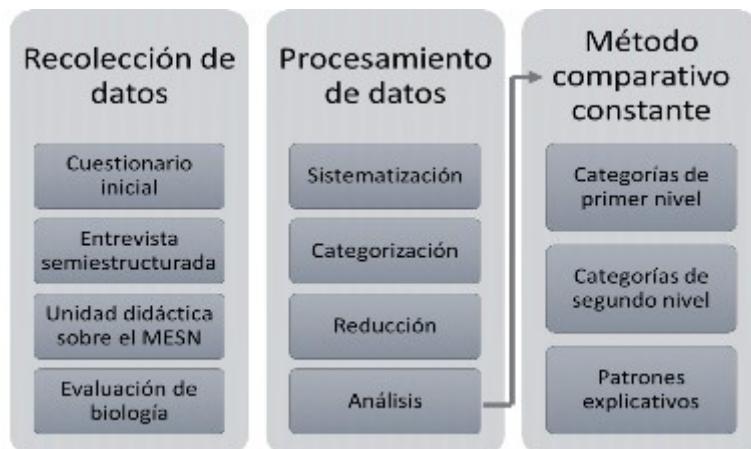


FIGURA 2
Resumen de la metodología de investigación.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la primera etapa del análisis, se definieron un total de 18 categorías de primer nivel, a partir de la sistematización de las producciones estudiantiles; las que fueron definidas y caracterizadas en función de los significados, ideas o concepciones implícitas o explícitas identificadas en cada uno de los fragmentos de las explicaciones. En la tabla 1 se muestra una breve descripción y la frecuencia relativa de las principales categorías, en dos momentos: antes (CI y E) y después (EB) de la unidad didáctica.

TABLA 1
 Categorías de primer nivel definidas a través de las concepciones o ideas estudiantiles sobre la evolución adaptativa.

Categorías de primer nivel		Breve descripción	Frecuencia relativa (%)	
			Antes	Después
C1	Cambio individual adaptativo	El cambio sucede en el sentido de la superación de un problema ambiental, en un individuo.	26	14
C2	Finalismo	Los cambios evolutivos están orientados hacia ciertos fines y objetivos.	15	17
C3	Inducción ambiental	El ambiente induce directamente el cambio adaptativo en los individuos.	15	0
C4	Compensación	La pérdida de un rasgo está acompañada de la mejora de otras habilidades o capacidades.	8	0
C5	Crías adaptadas	Frente a un cambio ambiental un individuo produce crías adaptadas al problema.	6	0
C6	Herencia de los caracteres adquiridos	Los caracteres adquiridos (adaptativos) son heredados en la siguiente generación.	5	0
C7	Enfrentamiento previo	Individuos que han sobrevivido a un problema ambiental en el pasado, aumentan las posibilidades de sobrevivir a un nuevo problema ambiental.	5	0
C13	Variabilidad previa	Se considera la existencia de variedad de individuos en el seno de una población.	0	14
C14	Relación variante-eficacia	Las variedades de una población tienen relación directa con el éxito reproductivo y la supervivencia.	0	28
C15	Herencia de las variaciones	Las características son heredadas en la siguiente generación, independiente de su ventaja relativa.	1	7
C16	Gran capacidad reproductiva	Los organismos tienen una gran capacidad para producir crías.	0	7
C17	Cambio poblacional	El cambio evolutivo es consecuencia del cambio en la frecuencia de las variedades.	0	10

Tal como se puede observar en la tabla 1, antes de la unidad didáctica el estudiantado expresó ideas de Cambio individual (C1), Finalismo (C2) e Inducción ambiental (C3), como las principales concepciones sobre las cuales realiza una explicación de la evolución adaptativa. Así, el cambio en las poblaciones a través del tiempo, estaría determinado por el ambiente (C3), que induce directamente el cambio individual en los organismos (C1), produciéndose variaciones que permitan enfrentar efectivamente el problema (C2). Que esta transformación esté influenciada por el medio ambiente, supone un rasgo del pensamiento finalista (González Galli y Meinardi, 2015), que ha quedado de manifiesto en la categoría 2.

Por otro lado, en las explicaciones sistematizadas en la evaluación de aprendizajes sobre evolución, después de la implementación de la UD, las ideas utilizadas por el estudiantado cambiaron. De este modo, sus producciones (narrativas) incluían la Variabilidad previa (C13), la Relación variante-eficacia (C14) y el Cambio poblacional (C17), como las principales concepciones. Sin embargo, se mantienen dos ideas: Cambio individual adaptativo (C1) y Finalismo (C2). En consecuencia, las producciones estudiantiles

estarían más cercanas al MESN, si utilizaron las categorías 13, 14 y 17, pero al mismo tiempo, podrían mantener rasgos de las explicaciones iniciales.

En la figura 3, se grafica la frecuencia con la que se repitió cada categoría, de manera que se pueda observar, con mayor grado, la comparación entre los instrumentos implementados.

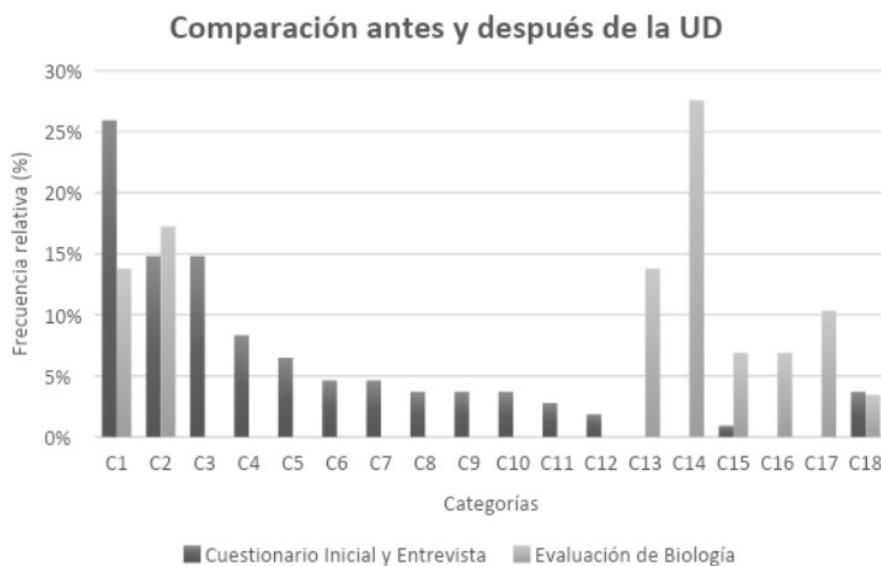


FIGURA 3

Comparación de las categorías de primer nivel antes y después de la implementación de la unidad didáctica.

Antes de la UD, se evidencia que las 3 primeras categorías representan el 56% de todas las concepciones expresadas por el estudiantado y, el 80% se concentran en las 6 primeras. En cambio, en el análisis realizado después de la UD, se expresaron principalmente las categorías 1, 2, 13, 14, 15, 16 y 17. Por consiguiente, se puede observar que, aun cuando se ha efectuado un proceso de enseñanza-aprendizaje sobre el MESN, persisten al menos dos concepciones previas en el estudiantado.

En la segunda etapa de análisis, se han agrupado las categorías iniciales en dos categorías de segundo nivel (ver tabla 2). La primera se ha designado *Finalismo* e incluyen las primeras 7 categorías, mientras que la segunda se ha denominado *Seleccional* y ha reunido las C13, C14, C15, C16 y C17. En estas dos agrupaciones se han integrado aquellas ideas que estuvieron relacionadas en las explicaciones del estudiantado cuando resolvieron los problemas de evolución adaptativa. Por ejemplo, en la categoría *Finalismo*, la idea de Cambio por inducción ambiental (C3), estuvo acompañada del cambio individual y, a su vez, estas eran finalistas (C2). Además, cuando el estudiantado tuvo que explicar cómo ha cambiado la población a través del tiempo, utilizaron las C4, C5, C6 y C7.

TABLA 2
Agrupación de categorías de primer nivel en categorías de segundo nivel.

Categorías de primer nivel	Categorías de segundo nivel
C1: Cambio individual adaptativo	
C2: Finalismo	
C3: Inducción ambiental	
C4: Compensación	Finalismo
C5: Crías adaptadas	
C6: Herencia de los caracteres adquiridos	
C7: Enfrentamiento previo	
C13: Variabilidad previa	
C14: Relación variante-eficacia	
C15: Herencia de las variaciones	Seleccional
C16: Gran capacidad reproductiva	
C17: Cambio poblacional	

En la tabla 3, se indica la clasificación de las explicaciones estudiantiles de acuerdo a las categorías de segundo nivel (Finalismo o Seleccional), en función del estudiante e instrumento de investigación. Dicha categorización es debido a la presencia o ausencia de las categorías de primer nivel. También se incluye la clasificación *otras*, cuando las explicaciones no pudieron ser catalogadas en finalismo o seleccional, o bien, el estudiantado no consideró el problema como un ejemplo de evolución (C8: Negación evolutiva).

TABLA 3
Tipo de explicación (Finalista o Seleccional) en función del problema y estudiante.

Instrumento de investigación	Cuestionario inicial		Evaluación de biología		
	Estudiante	P1	P2	Act3	Act4
A1	Finalista	Finalista	Finalista	Finalista	Finalista
A2	Otra	Finalista	Seleccional	Finalista	Finalista
A3	Finalista	Finalista	Seleccional	Finalista	Finalista
A4	Otra	Finalista	Seleccional	Seleccional	Seleccional

Se evidencia que el estudiante A1, utilizó un Modelo Finalista para explicar los problemas de evolución adaptativa, tanto en lo que refiere al origen de un rasgo morfológico (P1 y Act3), como en los que hacen referencia a la pérdida de un rasgo (P2 y Act4), antes y después de la UD. Lo anterior demuestra que no hubo un cambio en la forma de explicar la evolución y, el modelo Finalista se mantuvo aún después del proceso de enseñanza-aprendizaje sobre MESN.

Por otro lado, el A2 en un primer instrumento tuvo una explicación no evolutiva, es decir, resolvió el problema haciendo referencia a otras ideas que, de alguna manera negaban la evolución, esta fue clasificada en “otra”. Mientras que, en el P2 construyó una explicación Finalista. En la Evaluación de Biología, en la Act3 específicamente, realizó una respuesta coherente con el modelo Seleccional y en cambio, en la Act4 una explicación Finalista. Es posible que aquel estudiante haya aprendido ideas del MESN, pero cuando se

enfrentó a un problema de mayor complejidad (la pérdida de un rasgo morfológico) estas no hayan sido suficientes, por lo que el modelo previo (Finalista) fue utilizado como una explicación factible. Lo mismo sucedió con el A3, con la diferencia de que el P1 la respuesta fue de tipo Finalista.

Por último, el estudiante A4, presentó una explicación clasificada como otra en el P1 y Finalista en el P2. Mientras que, en la Evaluación de Biología, en ambas respuestas utilizó un modelo Seleccional. Esta estudiante fue la que dio mayor énfasis a las ideas estudiadas en la UD sobre el MESN, sus explicaciones eran más complejas (y completas) que las del resto de sus compañeros.

A continuación, en la tabla 4, se presentan algunos ejemplos de las explicaciones del estudiantado, que se han clasificado en los modelos seleccional y finalista, en los diferentes problemas y actividades de los instrumentos de investigación.

TABLA 4
Ejemplo de las explicaciones finalistas y seleccional del estudiantado.

Tipo de explicación	Ejemplo de las respuestas estudiantiles
Finalista	<i>Ya no tiene la vista, ya que por el hecho de vivir en una cueva, que no tenía luz solar, era como innecesario ver por qué estando a oscuras no veían igual, empezaron a perder la vista de a poco hasta quedar ciegos. (Explicación del estudiante A3 en el P3)</i>
Finalista	<i>Se explicaría por su ambiente al no llegar tanta luz solar puede que les afectará y quedarán ciegos, porque su ambiente natural se conforma de luz solar y agua. También por la oscuridad pudieron ir evolucionando y acostumbrándose a ese ambiente y lograr desarrollar nuevas capacidades. (Explicación del estudiante A4 en el P3)</i>
Seleccional	<i>Yo pienso que la diferencia en sus aletas podría haber estado desde un inicio, existiendo una variación en la población porque solo algunos tendrían espinas en sus aletas y otros no. Estos podrían llegar a tener cientos de crías las cuales podrían heredar sus diferencias solo hay un problema, solo sobreviven algunos, porque los matan depredadores o no encuentran pareja por esto solo sobreviven los con mejores características como los que tienen aletas con espinas porque podrían defenderse de sus depredadores y como los peces con aletas sin espinas no podían defenderse y cada vez más iría disminuyendo la población de peces con aletas sin espinas mientras la población de peces con espinas iría aumentando cada vez más y así esta población se conformaría de puros peces con aletas con espinas. (Explicación del estudiante A4 en la Act3)</i>
Seleccional	<i>Lo explicaría como: la población de la figura 1 al no tener espinas es cazado fácilmente, la población de la figura 2 al tener espinas, le permite sobrevivir de los depredadores y al reproducirse de generación en generación, lo que la población de la figura 2 será mayor que la población de la figura 1, ya que la población de la figura 2 tiene una característica que le favorece para sobrevivir. (Explicación del estudiante A2 en la Act3)</i>

La tercera etapa de análisis consistió en la caracterización de los patrones explicativos más comunes, inferidos de las producciones (narrativas) de los 4 estudiantes, en conjunto. Por lo que corresponde a una interpretación de los MCE y la reconstrucción de dichas explicaciones.

Para contrastar las diferencias y reconocer las similitudes, se interpretó por separado el **patrón explicativo** de ambos problemas (P1 y P2). En la figura 4 se muestra el patrón explicativo general del P1, que se encuentra conformado por las ideas subyacentes (en los cuadrados) y las categorías de primer nivel a las que hacen referencia (en los óvalos), se percibe que las explicaciones parten del hecho que el insecticida presenta un problema ambiental para los individuos y, debido al contacto directo con este, se induce al cambio de los individuos. A partir de ahí, dos eventos pueden suceder, sobrevivir o morir, en cada caso las explicaciones finalizan en el cambio individual de los organismos y, en consecuencia, en la adaptación de toda la especie.

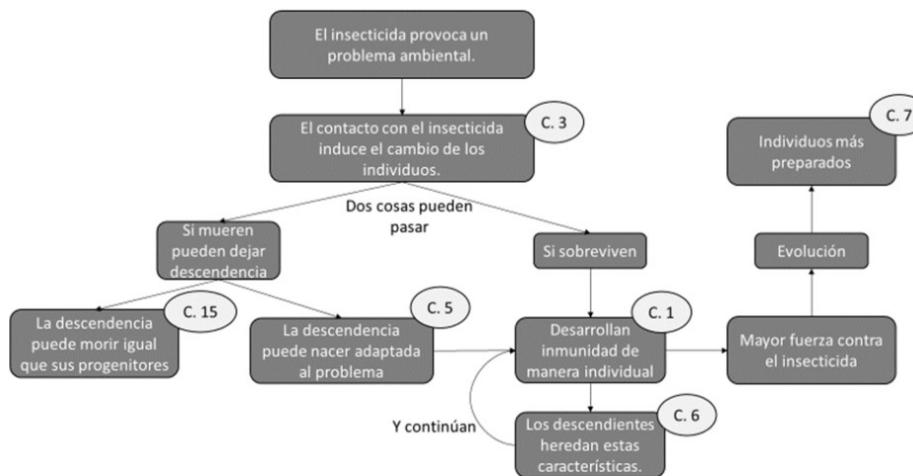


FIGURA 4
Patrón explicativo del Modelo Finalista en el problema 1 (P1) sobre el origen de un rasgo fisiológico simple.

Para el problema 2, el patrón explicativo es bastante similar en la estructura de las explicaciones y en cómo se relacionan las ideas utilizadas. En la figura 5 se esquematiza la manera en la que se explicó la pérdida de un rasgo morfológico. En esta ocasión, la oscuridad es percibida como un problema ambiental por los peces y, por la imposibilidad de ver, se induce el cambio adaptativo de la especie. Al igual que en el modelo anterior, dos eventos pueden suceder: los individuos que llegan a la cueva irán perdiendo la visión paulatinamente (C1) y al mismo tiempo ir desarrollando otras habilidades que le permiten sobrevivir en este ambiente (C4). Estos peces cuando se reproducen heredan estas características a su descendencia (C6), las que a su vez pueden seguir cambiando individualmente, disminuyendo aún más la visión y desarrollando más estas capacidades (Categoría 1 y 4).

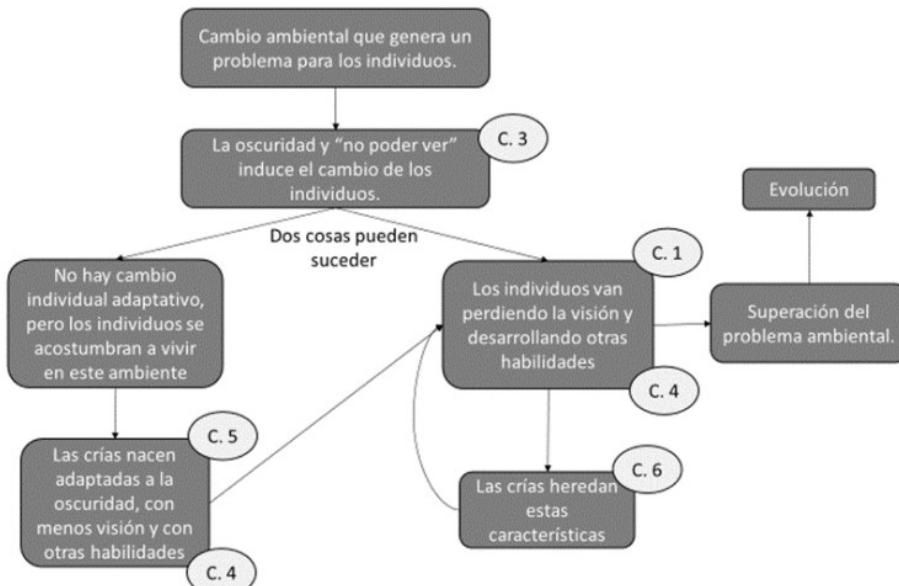


FIGURA 5

En estas explicaciones el pensamiento finalista es transversal ya que, es el medio ambiente el que induce al cambio de los individuos (evolución) y por lo tanto la adaptación está dirigida por la ocurrencia de variaciones

que son beneficiosas para el problema que enfrentan, estos casos, la inmunidad al insecticida y la pérdida de la visión de los peces.

En la figura 6 se presenta el principal patrón explicativo del estudiantado de tipo Seleccional, caracterizado en la actividad 3 y 4 de la evaluación de los aprendizajes sobre evolución. Esta forma de explicar la evolución adaptativa parte generalmente de la idea de la variabilidad entre los individuos (C13), indicando que existen diferentes tipos de organismos en una población. Sin embargo, el ambiente presenta algunas dificultades para estos individuos, es por esto que aquellos con mejores características (en función del ambiente donde se desarrollan) tienen más posibilidades de reproducirse que los que están menos adaptados (C14). Producto de lo anterior, generación tras generación, los organismos más adaptados van dejando más descendencia, provocando un cambio en la frecuencia de las variedades en una población (C17).

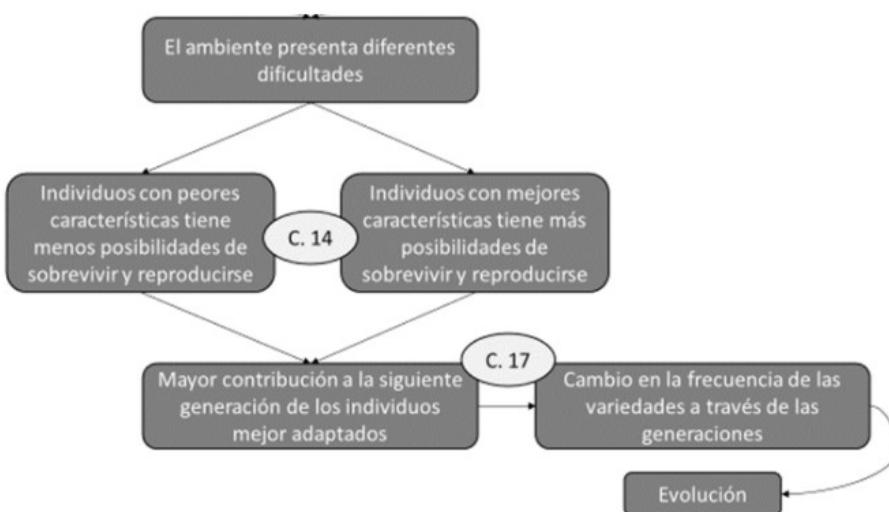


FIGURA 6
Patrón explicativo general del Modelo Seleccional.

DISCUSIÓN

Con respecto a la discusión de los resultados presentados y los antecedentes incluidos en el marco teórico, se considera que algunos son coherentes con ellos, mientras que otros difieren, al menos en esta investigación. Considerando las limitaciones metodológicas evidentes de este estudio, debido a que fue realizado en formato virtual durante la pandemia.

Diversas investigaciones indican que el estudiantado recurre a una explicación Lamarckista relacionada con el uso y el desuso de los órganos (Charrier *et al.*, 2012; Jiménez Aleixandre, 1991; Sánchez *et al.*, 2017), pero cuando se analizaron las producciones estudiantiles, ninguno expresó esta idea como una posible explicación para la evolución. Sin embargo, el estudiantado sí consideró la herencia de los caracteres adquiridos en sus explicaciones.

En este sentido es necesario preguntarse, qué se ha considerado como *Lamarckista* cuando se han clasificado las respuestas estudiantiles como tal. En algunas investigaciones se hace alusión al uso y desuso de los órganos (Charrier *et al.*, 2012), en otras se pone de manifiesto la necesidad por sobrevivir, o la idea de progreso evolutivo (Sánchez *et al.*, 2017). Según estas interpretaciones, las producciones estudiantiles analizadas en esta investigación serían más o menos coherentes con una explicación Lamarckista, en función de las ideas que se explicitan. Jiménez Aleixandre (1991), señala que se entiende como Lamarckista cuando una explicación considera que los cambios individuales de los organismos se dan en respuesta de las condiciones del medio. Esto es coherente con los resultados analizados ya que, son los individuos quienes cambian adaptativamente (C1), cuando se enfrentan a un problema ambiental (C3), pero a pesar de esto,

existe una fuerte idea finalista en relación a cómo estos cambios están orientados a ciertos fines y objetivos (C2) (Zambrano Abarzúa, 2020; Zambrano Abarzúa *et al.*, 2021).

González Galli y Meinardi (2015) identifican y reconocen tres obstáculos para el aprendizaje del MESN. Entre ellos se destaca, para esta investigación, la teleología del sentido común y la definen como “un modo de pensar según el cual todas las estructuras y procesos biológicos están orientados a la consecución de un fin” (p. 113). Lo anterior queda verificado en el énfasis que otorga el estudiantado al finalismo (C2), reconocido frecuentemente tanto en las respuestas iniciales, como en las respuestas finales. Otro obstáculo identificado por estos investigadores tiene relación con el razonamiento centrado en el individuo (RCI), donde sostienen que “los estudiantes carecen de la perspectiva poblacional requerida para la comprensión del MESN” (p. 114). Lo que se evidencia en el énfasis que suponen los sujetos en sus explicaciones, al indicar que el cambio a través del tiempo es de manera individual (C1). De este modo, el estudiantado expresa esta categoría en un 26% antes de la UD y un 14% después.

En el contexto de estos resultados y de su discusión, es necesario preguntarse ¿qué estrategias didácticas favorecen promover el cambio en las concepciones estudiantiles, sobre todo pensando en aquellas que la investigación en didáctica de las ciencias ha demostrado como obstáculos, y que en esta ocasión han sido persistentes en sus explicaciones?

Observamos así mismo, que las explicaciones *transitan* de manera dinámica en el aprendizaje del MESN, lo que se desmuestra en los diferentes patrones de pensamiento que explicita el estudiantado antes y después de la implementación de la UD, así como los MCE a los que caracterizan. Es necesario destacar que este *tránsito* sólo refleja de manera inicial cómo cambian los modelos, con respecto a las concepciones, ideas y relaciones que se construyen en dichas producciones (Gómez, 2005), desde los cuales se explican los problemas de evolución adaptativa.

Estos modelos (MCE), según se han definido anteriormente, son construcciones que sirven para explicar fenómenos del mundo, utilizando entidades que tienen sentido para los y las estudiantes; y que se adaptan a los datos experimentales (Gómez, 2005), que en este caso serían los contextos que promovieron la competencia explicativa. Según nuestro punto de vista, que estos modelos se ajusten a los diversos *escenarios* puede contribuir a mantención de aquellas ideas que no son coherentes con el MESN, pero que presentan un alto de grado de adaptabilidad y sentido personal. Lo anterior puede verse reflejado en cómo emergen los modelos iniciales en las actividades finales de la evaluación de biología, aún cuando ya hayan utilizado ideas del MESN.

CONCLUSIONES

Uno de los fenómenos que permite explicar la teoría de la evolución es la adaptación de los seres vivos a su ambiente. En tal sentido, el modelo de evolución por selección natural (MESN) es uno de los principales que da cuenta de este fenómeno. En relación con esto, el objetivo de la comunicación fue caracterizar las explicaciones del estudiantado a través de las concepciones o ideas que les permiten explicar problemas de evolución adaptativa.

Sobre la identificación y caracterización de los modelos científicos escolares de evolución, podemos concluir que el estudiantado de ciencias explica la evolución de dos maneras diferentes, denominadas *finalismo* y *seleccional*, los que constituyen, según nuestra caracterización, los MCE. El primero, el modelo finalista, corresponde a un MCE que está definido y caracterizado por las ideas previas estudiantiles, ya que su identificación se realizó principalmente en los instrumentos implementados previo a la Unidad Didáctica (UD). Además, estas tienen un carácter teleológico, es decir, los procesos evolutivos están orientados hacia la solución de los problemas y cambios ambientales, por lo cual la adaptación de los organismos está directamente influencia por medio ambiente, dándose sólo cambios adaptativos que suponen una ventaja en el ambiente en el cual se desarrollan.

El segundo modelo identificado y caracterizado en las respuestas estudiantiles corresponde al MCE Seleccional. Al respecto, es posible concluir que este modelo es más cercano y coherente al MESN, debido a que los procesos que se explican a través de tres ideas principales: C13: Variabilidad previa, C14: Relación variante eficacia y la C17: Cambio poblacional. Sin embargo, al mismo tiempo hubo estudiantes que mantuvieron las ideas Cambio individual (C1) y Finalismo (C2), en sus producciones.

Las principales contribuciones de este estudio, radican en la comprensión de cómo el estudiantado aborda y explica un problema científico escolar sobre la evolución adaptativa y cómo transitan estas explicaciones antes y después de la implementación de la UD, lo que permite inferir ciertos obstáculos o ideas estudiantiles que son persistentes al cambio. Lo anterior constituye una potente herramienta para el diseño de actividades y unidades que permitan mejorar los procesos de enseñanza aprendizaje del Modelo de Evolución por Selección Natural. En consideración con esto, es necesario según los investigadores, una vigilancia del tipo metacognitivo que permita la *superación* de estos modos de razonamiento.

Finalmente, nos parece que la direccionalidad hacia el desarrollo de una competencia explicativa es aún un desafío en la enseñanza de la biología, ya que requiere promover y articular de manera coherente aspectos teóricos y lingüísticos de esta ciencia que implican procesos complejos de aprendizaje que superen el nivel instrumental operativo, tal y cual lo hemos referido en esta investigación.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo se hace parte de la tesis de Licenciatura en Educación en Biología del primer autor, titulada *Diseño y Aplicación de un Instrumento Preliminar para Identificar y Caracterizar los Modelos Científicos Escolares sobre Evolución en Estudiantado de Secundaria*, defendida en la Facultad de Ciencias de la Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación (2021) y sigue las orientaciones teóricas y metodológicas del Proyecto Puente 2021 que dirige el segundo autor, patrocinado por la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad Católica de Chile.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adúriz-Bravo, A. (2012). Algunas características clave de los modelos científicos relevantes para la educación en química. *Educación química*, 23(2), 248-256.
- Adúriz-Bravo, A., Labarca, M. y Lombardi, O. (2014). Una noción de modelo útil para la formación del profesorado de química. En C. Merino, M. Arellano & A. Adúriz-Bravo (Eds.), *Avances en Didáctica de la Química: Modelos y lenguajes*, (pp. 37-50). Ediciones Universitarias de Valparaíso.
- Chamizo, J. (2010). Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7(1), 26-41.
- Charrier, M., Palmieri, M. y Abud, M. (2012). ¿Qué concepciones sobre la evolución biológica tienen un grupo de estudiantes en una universidad pública del Mar de Plata?. *X Jornadas Nacionales, V Congreso Internacional de Enseñanza de la Biología* (pp. 1141-1143). Córdoba, Argentina.
- Gallardo, M. (2017). *Evolución. El curso de la vida*. <http://sitiosciencias.uach.cl/EvolucionElCursodelaVida2017.pdf>
- Goetz, J. y LeCompte, M. (1988). *Etnografía y diseño cualitativo en investigación educativa*. Morata.
- Gómez, A. (2005). *La construcción de un modelo de ser vivo en la escuela primaria: una visión escalar* [Tesis doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona]. <https://www.tdx.cat/handle/10803/4711>
- González Galli, L. (2010). La Teoría de la Evolución. En E. Meinardi (Ed.), *Educar en Ciencias* (pp. 225-259). Paidós.
- González Galli, L. (2011). *Obstáculos para el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural en estudiantes de escuela secundaria en Argentina* [Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires]. Biblioteca Digital Exactas. http://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis_n4961_GonzalezGalli

- 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. *Ciencia y Educación*, 21(1), 101-122.
- González Galli, L., Meinardi, E. y Pérez, G. (2018). Una tipología de casos para enseñar el modelo de evolución por selección natural. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 34, 77-90.
- González Galli, L., Pérez, G. y Gómez Galindo, A.A. (2020). The self-regulation of teleological thinking in natural selection learning. *Evo Edu Outreach*, 13(6), 1-16. <https://doi.org/10.1186/s12052-020-00120-0>
- Hernández, M., Álvarez, E. y Ruiz, R. (2009). La selección natural: aprendizaje de un paradigma. *Teorema*, 28(2), 107-121.
- Jiménez Aleixandre, M. (1991). Cambiando las ideas sobre el cambio biológico. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 9(3), 248-256.
- Joglar, C. (2014). *Elaboración de preguntas científicas escolares en la clase de biología. Aportes a la discusión sobre las competencias del pensamiento científico desde un estudio de caso* [Tesis doctoral, Universidad Católica de Chile].
- Labarrere, A. y Quintanilla. (2002). La solución de problemas científicos en el aula. Reflexiones desde los planos de análisis y desarrollo. *Pensamiento Educativo*, 30(1), 121-137.
- Martínez, M. y Rodríguez-Pineda, D. (2017). Caracterización de los modelos teóricos de evolución biológica para identificar el modelo teórico del profesorado de secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, Sevilla, Número Extraordinario, X Congreso, 3889-3894.
- Mayr, E. (2016). *Así es la Biología*. Grupo Editorial.
- Pérez, G., Gómez, 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_en_sen_divulg_cienc.2018.v15.i2.2102
- Quintanilla-Gatica, M. (2012). La investigación en evaluación de Competencias de Pensamiento Científico desde la formación continua del profesorado. Algunas directrices epistemológicas. En F. Angulo, L. Díaz, C. Joglar, A. Joglar, E. Ranaval & M. Quintanilla (Eds.), *Las Competencias del Pensamiento Científico desde 'las voces' del aula* (pp. 15-46). Bellaterra.
- Rodríguez, G., Gil, J. y García, E. (1999). Enfoques en la investigación cualitativa. En G. Rodríguez, J. Gil & E. García, *Metodología de la investigación cualitativa* (2^a ed., pp. 32-58). Aljibe.
- Sánchez, J., Conde M. y Zapata, V. (2017). Concepciones alternativas sobre evolución. Un estudio en futuros maestros. *Enseñanza de las Ciencias*, Sevilla, Número Extraordinario, X Congreso, 2219-2224.
- Sanmartí, N. (2002). *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria*. Síntesis Educación.
- Sanmartí, N. (2003). (Coord.) (2003). *Aprendre ciències tot aprenent a escriure ciències*. Ediciones 62.
- Soler, M. (2002). *Evolución: la base de la biología*. Proyecto Sur de Ediciones, S.L.
- Wingert, J.R., Bassett, G.M., Terry, C.E et al. (2022). The impact of direct challenges to student endorsement of teleological reasoning on understanding and acceptance of natural selection: an exploratory study. *Evo Edu Outreach*, 15(4), 1-13. <https://doi.org/10.1186/s12052-022-00162-6>
- Zambrano Abarzúa, J. (2020). *Diseño y aplicación de un instrumento preliminar para identificar y caracterizar los modelos científicos escolares sobre evolución en estudiantado de secundaria* [Tesis de licenciatura, Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación].
- Zambrano Abarzúa, J., Quintanilla-Gatica, M., González-Galli, L y Vildósola Tibaud, X. (2021). Identificación y caracterización de los modelos científicos escolares iniciales sobre la evolución adaptativa. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, Bogotá, Número Extraordinario, IX Congreso, 3121-3127. <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/15447>

INFORMACIÓN ADICIONAL

Para citar este artículo: Zambrano, J. y Quintanilla-Gatica, M. (2023) Modelos Científicos Escolares en estudiantado de secundaria ¿Cómo explican la evolución adaptativa? *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 20(2), 2102. doi: 10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2023.v20.i2.2102