

ENSEÑANZA DE LA ADAPTACIÓN BIOLÓGICA: UN META-ANÁLISIS DESDE LA DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS

Teaching biological adaptation: a meta-analysis from science didactics

Disneyla Isabel Navarro Bolaño [d.navarro@utp.edu.co]

Doctorado en Didáctica

Facultad de Ciencias de la Educación

Universidad Tecnológica de Pereira

Carrera 27 #10-02 Barrio Alamos, Pereira, Risaralda, Colombia

Arlet María Orozco Marbello [arlet@uninorte.edu.co]

Kare Arle Carvajal Prada [karec@uninorte.edu.co]

Doctorado en Educación

Facultad de educación

Universidad del Norte

Km. 5 vía Puerto Colombia, Área Metropolitana de Barranquilla, Colombia

Rafael Yecid Amador-Rodríguez [ryamador@uninorte.edu.co]

Instituto de Estudios en Educación-IESE

Universidad del Norte

Km. 5 vía Puerto Colombia, Área Metropolitana de Barranquilla, Colombia

Resumen

El fenómeno de adaptación biológica está presente en el currículum de ciencias de los diferentes niveles educativos, siendo analizado críticamente por investigadores en didáctica. Este artículo, presenta una revisión sistemática de 15 artículos sobre un conjunto de ideas clave relacionadas con la enseñanza del fenómeno en mención, siendo el propósito determinar aspectos involucrados en los obstáculos epistemológicos reportados en la literatura; identificándose algunas implicaciones teleológicas relacionadas con la construcción de explicaciones sobre el fenómeno de adaptación, a partir de tres categorías denominadas: análisis representacional, sesgos cognitivos y abordaje didáctico. Se determinó que los obstáculos epistemológicos reportados en la literatura sobre el fenómeno de adaptación biológica, están fuertemente ligados a la teleología, para enfrentar esta situación, se propone desde el campo de la didáctica de la biología diseñar e implementar propuestas de enseñanza que proporcionen evidencias en contra de supuestos teleológicos inadecuados.

PALABRAS CLAVE: Enseñanza; fenómeno de adaptación; teleología; revisión sistemática.

Abstract

The phenomenon of biological adaptation is present in the science curriculum at different educational levels, being critically analyzed by didactic researchers. This article introduces a systematic review of 15 articles about a set of key ideas related to the teaching of the phenomenon in question, aimed to determine aspects involved in the epistemological obstacles reported in the literature; identifying some teleological implications related to the construction of explanations about the phenomenon of adaptation, based on three categories called: representational analysis, cognitive biases and didactic approach. It has been determined that the epistemological obstacles reported in the literature regarding the phenomenon of biological adaptation are strongly linked to teleology. To address this situation, the field of biology education proposes designing and implementing teaching proposals that provide evidence against inadequate teleological assumptions.

Keywords: Teaching; adaptation phenomenon; teleology; systematic review.

INTRODUCCIÓN

La comunidad científica ha propuesto el modelo de la teoría evolutiva por selección natural, como uno de los temas centrales y unificadores de la biología (Van Dijk, 2009), debido a que proporciona una base sobre la que se pueden construir otros modelos y un marco en el que encajan los sistemas biológicos complejos (Nieswandt & Bellomo, 2009). La teoría evolutiva permite explicar, predecir e intervenir en procesos biológicos tanto a nivel molecular como ecológico (Futuyma, 2009).

Sin duda alguna, el Modelo de Selección Natural (MSN) es de gran relevancia tanto para la biología como disciplina científica, como para el currículo de ciencias (Gresch, 2020); sin embargo, los procesos evolutivos son difíciles de comprender porque son en gran medida contrarios a la intuición (Hanisch & Eirdosh, 2021), siendo un verdadero desafío el diseño de actividades de enseñanza relacionadas con la selección natural (González-Galli, 2011). En consecuencia, se requiere que, desde la enseñanza del MSN, se estudien en detalle procesos aleatorios como la mutación, el concepto de probabilidad, escalas de tiempo, así como las relaciones entre múltiples niveles organizacionales que van desde el nivel molecular al nivel poblacional (Gresch, 2020).

El MSN es considerado un mecanismo que proporciona explicaciones potentes sobre la manera en la que los miembros de una especie desarrollan rasgos especializados, aspecto que se conoce como fenómeno de adaptación biológica (Ronfard *et al.*, 2021), esta explicación se apoya en un proceso basado en la población, las interacciones y la variación genética (González-Galli, 2011). Es importante destacar que la adaptación por selección natural es un proceso multigeneracional que ocurre debido a la variación genética aleatoria a nivel poblacional; es decir, los individuos de una población que tienen rasgos más ventajosos sobreviven y se reproducen en comparación con los individuos con rasgos menos ventajosos (Ronfard *et al.*, 2021). Resultando con el tiempo que, una mayor proporción de individuos de la población llegue a poseer estos rasgos ventajosos; sin embargo, en lugar de esta explicación basada en la población y la variación como fuente de cambio, los estudiantes a menudo describen la adaptación en función de aspectos relacionados con la necesidad que tiene un organismo de mejorar (González-Galli *et al.*, 2020), siendo lo anterior, en palabras de Hammann & Nehm (2020); Trommler & Hammann (2020); Brown *et al.* (2020); Kampourakis (2020); Gresch (2020) un obstáculo epistemológico de corte teleológico.

Pérez (2021) define obstáculo epistemológico desde planteamientos de Bachelard (1984), como una forma de pensar arraigada, tanto conceptual como metodológica, que pudo haber tenido un valor en el pasado, pero que en un momento dado obstaculiza la comprensión de un modelo teórico. Cuando se afirma que es de corte teleológico, se refiere a la recurrencia de explicaciones sobre fenómenos evolutivos, acudiendo a ciertos aspectos como función, dirección, objetivos, agencia, propósito e intención (Hammann & Nehm, 2020); por ejemplo, afirmar que la jirafa adquirió cuello largo porque lo necesitaba para comer; por lo general, estos relatos “transformacionales” a nivel individual no elaboran un mecanismo causal (Brown *et al.*, 2020).

En este artículo se presenta una revisión sistemática de la literatura especializada, específicamente en publicaciones de alto impacto. La búsqueda se centró en los aspectos implicados en los obstáculos

epistemológicos relacionados con el fenómeno de adaptación biológica, para lo cual se utilizó la base de datos Web of Science (WoS) y BioMed Central (BMC), para tal propósito se acogieron los criterios de la declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analysis). La pregunta que se propuso para el meta-análisis fue: ¿Cuál o cuáles son los aspectos implicados en los obstáculos epistemológicos relacionados con la enseñanza del fenómeno de adaptación biológica?

Para dar respuesta a esta pregunta, se definen en primer lugar los elementos teóricos que justifican la enseñanza del fenómeno de adaptación biológica en el currículo de ciencias y en segundo lugar, se propone un análisis sobre los aspectos implícitos en los obstáculos epistemológicos relacionados con la enseñanza del fenómeno de adaptación biológica, enmarcados en las categorías y subcategorías construidas desde la revisión sistemática realizada.

MARCO TEÓRICO

El fenómeno de adaptación biológica se concibe desde los presupuestos de la teoría evolutiva por selección natural, debido a que: “la selección natural explica la adaptación de los organismos a su entorno” (Dupré, 2016, p. 37). Futuyma (2009) define la adaptación como un proceso de cambio genético en una población, por medio del cual, como resultado de la selección natural, el valor medio de un carácter se incrementa con referencia a una función específica o, por medio del cual una población se ajusta mejor a su ambiente.

Puig-Samper (2019) por su parte considera que una de las fisuras más profundas de esta teoría, es la cuestión de la herencia, puesto que tanto Darwin como Wallace no la incluyeron en profundidad en sus explicaciones. A finales del siglo XIX Gregor Mendel identifica aspectos relacionados con la herencia, afirmando que los caracteres hereditarios dependen de factores independientes entre sí, estableciéndose en las sucesivas generaciones y que se combinan en la descendencia de acuerdo con las leyes de la estadística (Puig-Samper, 2019, p. 246).

Algunos autores consideraron pertinente integrar el darwinismo o la evolución por selección natural, con los hallazgos de la genética mendeliana, debido precisamente a la compatibilidad y complementariedad entre estas (Ruse, 2010; González-Galli, 2011; Puig-samper, 2019), esta integración recibe el nombre de *teoría sintética de la evolución* (Futuyma, 2009), definiéndose desde planteamientos de Salgado (2016) en cinco factores a saber: mutación, recombinación génica, flujo génico, selección natural y aislamiento reproductivo (p. 16). Teniendo en cuenta los debates existentes relacionados con la teoría evolutiva, se hace explícito el posicionamiento teórico para la presente revisión, enfatizando en el fenómeno de adaptación biológica, explicado a través del MSN (Kampourakis, 2013).

ASPECTOS METODOLÓGICOS

La metodología propuesta para la revisión sistemática, profundizó en el meta-análisis de los reportes de investigaciones que abordan la enseñanza del fenómeno de adaptación biológica. Se aclara que las revisiones sistemáticas difieren en gran parte de las narrativas, debido a que estas son menos propensas a

sesgos de investigación, por lo que se introduce una mayor objetividad al explicar iterativa, rigurosa y explícitamente el proceso de selección de los estudios y el método utilizado para su revisión y evaluación (Toma, 2020).

Para la presente revisión, se utilizó la plataforma *Web of Science* y *BioMed Central*, atendiendo a los criterios de la declaración PRISMA, proceso que implica la toma de decisiones iterativas por parte de los autores, con el fin de minimizar el riesgo de sesgo en el proceso de revisión, basándose en criterios de inclusión establecidos con anterioridad (Urrútia & Bonfill, 2010). En la figura 1 se describe la identificación y selección de artículos, siguiendo las fases que se proponen desde la declaración PRISMA.

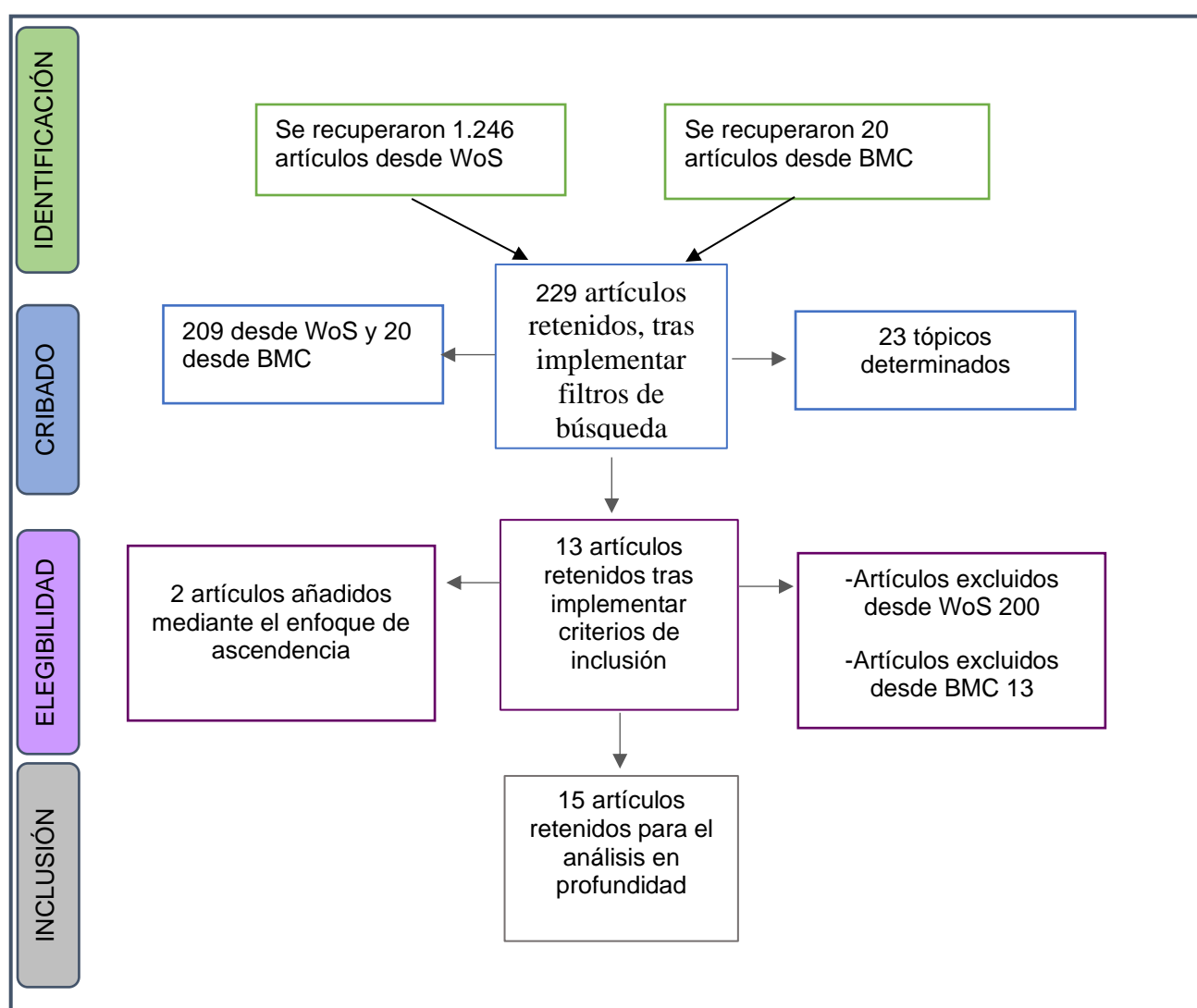


Figura 1. Identificación y selección de artículos según PRISMA. Adaptado de Toma (2020)

-Fase de identificación: En la base de datos WoS se utilizaron los siguientes descriptores: *enseñanza y selección natural*, *enseñanza y teoría evolutiva*, *enseñanza y evolución biológica* y *enseñanza y adaptación*, utilizando el operador booleano AND, en tipo de documento se eligió artículos, en idioma tanto inglés, como español, en un rango comprendido entre los años 2009 a 2021. A la base de datos WoS se

accedió por las opciones búsqueda avanzada y básica, seleccionando artículos por tema, título, autor, entre otros, identificando 1.246 artículos. En cuanto a la búsqueda por BMC, se realizó desde la revista *Evolución: educación y divulgación*, específicamente en el volumen 4 del 2011, el volumen 12 del 2019 y el volumen 13 de 2020, precisando 20 artículos. Finalmente fueron escogidos 1.266 artículos con potencialidades para su análisis en profundidad.

-Fase de cribado: En esta fase el trabajo se centró en filtrar los 1.266 artículos a partir de palabras clave, la intención de los estudios y las diferentes afirmaciones con alta carga teórica (Amador-Rodríguez, 2018), referidas en este caso al fenómeno de adaptación biológica, seleccionando 209 en WoS y 20 en BMC para un total de 229 artículos. Seguidamente, se determinaron 23 tópicos (ver tabla 1), agrupando la mayoría de artículos en los tópicos denominados: conocimiento disciplinar en la enseñanza del MSN, identificación de creencias y concepciones sobre la enseñanza del MSN, comprensión y/o aceptación de la enseñanza y aprendizaje del MSN, enseñanza del fenómeno de adaptación biológica, obstáculos epistemológicos relacionados con el fenómeno de adaptación biológica y la teleología implícita en el fenómeno de adaptación biológica, centrando el interés del presente estudio en los tres últimos tópicos.

Tabla 1. Tópicos identificados en la revisión documental

TÓPICOS	
1	Naturaleza de la ciencia en la enseñanza del MSN
2	Las metáforas de Darwin en la enseñanza y aprendizaje del MSN
3	Creencias y concepciones sobre la enseñanza del MSN
4	Conocimiento disciplinar en la enseñanza del MSN
6	Cambio conceptual en el aprendizaje del MSN
7	Evaluación en el aula para la comprensión significativa del MSN
8	Modelización, metacognición, evaluación formativa y pensamiento crítico, relacionado con la enseñanza y aprendizaje del MSN
9	Comprensión y/o aceptación en la enseñanza y aprendizaje del MSN
10	Teología en el pensamiento evolutivo
12	Argumentos Darwinianos
13	Justificación de la enseñanza del MSN y no la enseñanza del diseño inteligente
14	Controversias Darwinianas
15	Pensamiento teleológico en la enseñanza del MSN
16	Obstáculos en la enseñanza y aprendizaje del MSN
17	Técnicas de enseñanza y aprendizaje sobre el MSN
18	Análisis de libros relacionados con la enseñanza del MSN
19	Lenguaje y narrativa al enseñar y aprender sobre el MSN
20	Conocimiento disciplinar sobre la enseñanza del Fenómeno de Adaptación Biológica
21	Enseñanza del Fenómeno de Adaptación Biológica
22	Obstáculos epistemológicos en la enseñanza del Fenómeno de Adaptación Biológica
23	Teleología en el Fenómeno de Adaptación Biológica

-Fase de elegibilidad: En esta fase se seleccionaron los artículos referidos a los tópicos de interés mencionados en la fase de cribado: estudios sobre la enseñanza y aprendizaje del fenómeno de adaptación biológica, obstáculos epistemológicos que emergen al enseñar el fenómeno de adaptación biológica,

enfazando en la teleología implícita en este fenómeno, excluyéndose 216 artículos y eligiendo los artículos (13 en total) que cumplían los criterios de inclusión.

Posteriormente, se utilizó un enfoque de ascendencia, desde el cual se identificaron 2 artículos más; este enfoque consiste en revisar las referencias de los artículos seleccionados en busca de otros artículos potencialmente relevantes que no han sido identificados en las estrategias de búsqueda descritas anteriormente (Toma, 2020). En la tabla 2 se relacionan los artículos que cumplen los criterios antes mencionados.

Tabla 2. Artículos seleccionados según criterios de inclusión

Criterios	Autores
Enseñanza del Modelo de Adaptación Biológica	Kampourakis, 2013; Emmons <i>et al.</i> , 2016; Price & Pérez, 2016; Shtulman <i>et al.</i> , 2016; Brown <i>et al.</i> , 2020; Ronfard <i>et al.</i> , 2021
Obstáculos en la enseñanza del Modelo de Adaptación Biológica - Teleología en el Modelo de Adaptación Biológica	Schramm & Schmiemann 2019; González-Galli <i>et al.</i> , 2020; Kampourakis, 2020; Hammann & Nehm, 2020; Werth & Allchin, 2020; Gresch, 2020; Trommler & Hammann, 2020; Ronfard <i>et al.</i> , 2021; Hanisch & Eirdosh, 2021

-Fase de inclusión: Después de hacer una lectura intencionada y teniendo en cuenta los criterios establecidos con anticipación, en definitiva 15 artículos fueron seleccionados para su análisis riguroso.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Basados en la revisión sistemática, se establecieron tres categorías denominadas por los autores como: *análisis representacional*, *sesgos cognitivos* y *abordaje didáctico*; identificadas al revisar rigurosamente los artículos retenidos y elegir las afirmaciones con alta carga teórica, referidas al fenómeno de Adaptación Biológica. A partir de la tipificación de las categorías, se procedió a realizar la construcción de las subcategorías, atendiendo a la carga teórica de cada una de las afirmaciones seleccionadas, lo cual requirió un análisis minucioso de cada una de ellas. En tal sentido, se decidió reagrupar las afirmaciones en 6 subcategorías, dos por cada categoría. En la tabla 3 se relacionan las categorías con las respectivas subcategorías y la cantidad de afirmaciones, cabe resaltar que la mayor cantidad de afirmaciones se ubican en la categoría sesgos cognitivos y en la subcategoría denominada explicaciones teleológicas funcionales.

Posteriormente, y con el fin de brindar mayor claridad al proceso de reagrupación de las afirmaciones en las subcategorías, se elaboró una matriz en una hoja de cálculo de excel, identificando ejemplos de afirmaciones que corresponden con cada subcategoría. Ver tabla 4.

Tabla 3. Relación de categorías, subcategorías y cantidad de afirmaciones

Categoría	Subcategoría	Cantidad de afirmaciones
Análisis representacional	Estilo lineal	14
	Estilo ramificado	19
Sesgos cognitivos	Explicaciones teleológicas-funcionales	62
	Explicaciones teleológicas-intencionales	39
Abordaje didáctico	Propuestas didácticas	30
	Reflexiones didácticas- teóricas o empíricas	27
Total afirmaciones		191

Tabla 4. Relación de categorías, subcategorías y algunos ejemplos de afirmaciones

Categoría	Subcategoría	Ejemplos de afirmaciones
Análisis representacional	Estilo lineal	La marcha erguida es un icono de la evolución a menudo asociado con concepciones teleológicas intencionales o basadas en la progresión de la evolución humana (Hanisch & Eirdosh, 2021, p. 1007)
	Estilo ramificado	Los árboles evolutivos son una forma de representación muy específica del contexto de la biología evolutiva, desafortunadamente, existen numerosos escollos teleológicos al construirlos o presentarlos en un contexto de enseñanza (Schramm & Schmiemann, 2019, p. 15).
Sesgos cognitivos	Explicaciones teleológicas-Funcionales	Se podría argumentar que la funcionalidad del rasgo de un antepasado realmente jugó un papel causal en el proceso evolutivo. Sin embargo, lo problemático acerca del razonamiento teleológico de los estudiantes, es el hecho de que proporcionan la función de un rasgo como el único factor causal de cómo el rasgo llegó a existir sin vincular al mecanismo adaptativo (Trommler & Hammann, 2020, p. 3).
	Explicaciones teleológicas-intencionales	El problema que más bien podríamos abordar en la educación evolutiva no es la teleología en sí, sino la "postura del diseño" subyacente (Kampourakis, 2020, p. 1).
	Propuestas didácticas	Con base en nuestros análisis epistemológicos y psicológicos previos, proponemos que el principal objetivo educativo en el desarrollo de los estudiantes, es la vigilancia metacognitiva

Categoría	Subcategoría	Ejemplos de afirmaciones
Abordaje didáctico		sobre los obstáculos teleológicos (González-Galli <i>et al.</i> , 2020, p. 12).
	Reflexiones didácticas-teóricas o empíricas	Los estudiantes tienden a acercarse a la biología con una orientación normativa, están principalmente interesados en preguntas "por qué" (no "cómo"). Necesitamos ayudar a los estudiantes a reconocer este sesgo intuitivo y a apreciar marcos explicativos alternativos puramente descriptivos que no apelan a la intención mental o los ideales conscientes (Werth & Allchin, 2020, p. 17).

A continuación, se realiza una descripción de cada categoría desde el análisis de las afirmaciones seleccionadas, lo cual se fundamenta de acuerdo al contenido semántico de cada una de ellas, es decir son “proposiciones semánticamente potentes que describen o refieren a aspectos epistemológicos que están involucrados con la ciencia” (Amador-Rodríguez, 2018).

Categoría: Análisis representacional

La categoría se describe como el conjunto de representaciones de tipo icónico que se reportan en la literatura y son utilizadas para explicar el fenómeno de adaptación biológica. A partir de los datos recopilados, se destacan dos subcategorías: estilo lineal y estilo ramificado, en las cuales se identifica un énfasis especial en la marcha del progreso y en los árboles evolutivos respectivamente.

En lo que se refiere a la representación en estilo lineal del fenómeno de adaptación biológica, es notoria la marcha del progreso (ver figura 2), esquema de la evolución a menudo asociado con concepciones teleológicas intencionales o basadas en la progresión de la evolución humana (Hanisch & Eirdosh, 2021). Con este tipo de representación, la adaptación se evidencia como historias de desarrollo individual, sin tener en cuenta la naturaleza ramificada de los linajes; además que, enfatiza en conceptos relevantes tales como: la división de poblaciones que conduce a la especiación, las extinciones, las relaciones relativas de diferentes especies y la nueva evolución de rasgos (Schramm & Schmiemann, 2019).

Cabe señalar que esta iconografía encamina a interpretaciones que dificultan la comprensión del modelo de selección natural, debido a que hace énfasis en la definición de los procesos evolutivos basados en la complejidad creciente de los seres vivos, al tiempo que sugiere muy fuertemente que los humanos son descendientes de los simios modernos (Van Dijk, 2009). De esta manera, se representa una idea de la cadena del ser como una descripción válida de los procesos evolutivos y, por lo tanto, fomenta el pensamiento teleológico (Werth, 2012), al indicar que se persigue un propósito.

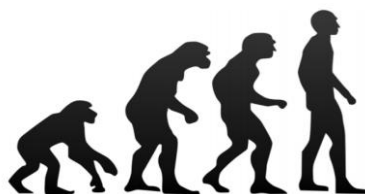


Figura 2. Marcha de progreso de un simio torcido a un humano erguido, tomado de Hanisch & Eirdosh (2021).

Los árboles evolutivos hacen alusión al estilo ramificado (ver figura 3), respaldando el concepto que la evolución es un proceso que “apunta” de manera indefectible a formas cada vez más complejas y de acuerdo con Mogie (2000), resultan en seres vivos modernos, lo cual sugiere la idea de complejidad, aspecto que se relaciona con el obstáculo epistemológico denominado progresividad de sentido común (Pérez, 2021). Los árboles evolutivos en estilo ramificado son muy utilizados en la enseñanza de la ciencia y sólo en una minoría de los casos estos diagramas se colocan en un contexto histórico apropiado (Catley & Novick, 2008); además, al representar a las diferentes especies como menos o más evolucionadas, alimentan la idea que la evolución sigue un aumento de la complejidad a lo largo del tiempo, como un tipo de propósito o meta, aspecto que es profundamente teleológico (Kummer *et al.*, 2016).

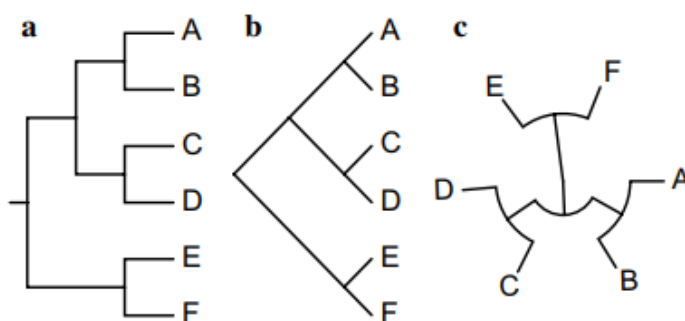


Figura 3. Árboles evolutivos: a. rectangular, b. diagonal y c. circular. Tomado de Schramm & Schmiemann (2019)

Categoría: Sesgos cognitivos

Desde los planteamientos de Kelemen (2012), la categoría denominada sesgos cognitivos, se define como el conjunto de distractores, distorsiones y/o alteraciones cognitivas, que obstaculizan la comprensión del fenómeno de adaptación, identificándose como subcategorías las explicaciones teleológicas funcionales y explicaciones teleológicas intencionales. Diversas investigaciones en psicología han documentado que la teleología está profundamente arraigada a la cognición humana, quizás como una estrategia heurística, o sesgo, moldeado por la evolución misma (Werth & Allchin, 2020, p. 2).

En cuanto a las explicaciones teleológicas que describen la funcionalidad de un rasgo especializado, pueden considerarse científicamente justificadas si están respaldadas por la comprensión precisa del mecanismo causal de la adaptación (Brown *et al.*, 2020). Es importante tener en cuenta que la funcionalidad

del rasgo de un antepasado realmente jugó un papel causal en el proceso evolutivo, sin embargo, lo problemático acerca del razonamiento teleológico en los estudiantes, es el hecho que proporcionan la función de un rasgo como el único factor causal de cómo el rasgo llegó a existir sin vincular el mecanismo de selección evolutivo (Trommler & Hammann, 2020); además, estos tácitamente terminan centrándose en el beneficio funcional de un rasgo de manera individual, en lugar de la variabilidad de la población como motor del cambio; por tanto, en lugar de verse como un proceso mecanicista, se percibe como un evento dirigido a un objetivo (Brown *et al.*, 2020).

Con base en lo anterior, Werth & Allchin (2020) afirman que los estudiantes deben ser conscientes de cómo las perspectivas teleológicas funcionales, especialmente en combinación con la ciencia sesgada, pueden moldear el discurso cultural, autorregulando el lenguaje teleológico implícito en el análisis de rasgos adaptativos en los seres vivos (Kampourakis, 2020).

Por otra parte, las explicaciones y terminología teleológica que enuncian la intencionalidad, otra de las subcategorías relacionadas con los sesgos cognitivos, continúan utilizándose en biología, porque precisamente en el análisis de los rasgos adaptativos se emplea la metáfora del diseño (González-Galli *et al.*, 2020). Esta metáfora alude a la percepción intuitiva del diseño en la naturaleza, que parece ser predominante e independiente de la religiosidad en edades tempranas (Kampourakis, 2020), determinado por la disposición humana tendiente a explicar los fenómenos naturales en términos de intención orientada a objetivos (Werth & Allchin, 2020).

Teniendo en cuenta la metáfora del diseño, Kampourakis (2020) plantea que las explicaciones basadas en el diseño son legítimas para los artefactos, los cuales están diseñados y creados para un uso previsto; sin embargo, son científicamente ilegítimas para los organismos, porque hay evidencia que no están diseñados, ya que contienen muchas características inútiles o que funcionan mal. Según Ruse (2001), la metáfora del diseño, que representa a los organismos y sus partes como si fueran productos de un diseño deliberado, será siempre un recurso cognitivo obligatorio para construir explicaciones de la adaptación basadas en la teoría de la evolución por selección natural (González-Galli *et al.*, 2020), porque precisamente “la postura de diseño subyacente y no la teleología per se es lo que vuelve problemáticas las explicaciones teleológicas” (Kampourakis, 2020. p. 1).

Basándose en estudios de Kampourakis & Zogza (2009) realizan una distinción entre “teleología de diseño” y “teleología de selección; la primera se basa en la intención de lograr un objetivo particular, por ejemplo, la adaptación resulta de un cambio en la estructura, las funciones o el comportamiento de un organismo, que tuvo lugar con el fin de proporcionar la capacidad de sobrevivir en condiciones ambientales; mientras que la segunda se basa en la visión darwiniana de la evolución a través de la selección natural, por ejemplo, la adaptación resulta de cambios en las estructuras, las funciones o el comportamiento de un organismo, que tuvo lugar y sucedió al azar para proporcionarle la capacidad de sobrevivir en condiciones ambientales particulares y, por lo tanto, se conservó mediante selección natural. En 2020 Kampourakis, sigue haciendo alusión a tal distinción, aspectos que funcionan como referencia teórica para diferenciar entre formas aceptables e inaceptables de teleología.

Categoría: Abordaje didáctico

La categoría que enuncia el abordaje didáctico se define como posibles maneras de llevar al aula el fenómeno de adaptación biológica, basado en el análisis representacional y los sesgos cognitivos identificados, diferenciándose dos subcategorías, una denominada propuesta didáctica y la otra reflexiones teóricas y/o empíricas.

Basada en las problemáticas propiedades presentes, en las representaciones (en estilo lineal y ramificado) y en los sesgos cognitivos que declaran el pensamiento teleológico implícito en el fenómeno de adaptación biológica, se identifican en la literatura esfuerzos por aportar a la enseñanza de este modelo, partiendo de propuestas didácticas relacionadas con un análisis epistemológico y psicológico por parte de González-Galli (2011), quien propone que el principal objetivo de la educación en ciencias es el desarrollo de la *vigilancia metacognitiva* sobre los obstáculos teleológicos, esta vigilancia implica desarrollar una capacidad de regulación sobre los obstáculos implícitos en la construcción de explicaciones relacionadas con la adaptación biológica (Pérez, 2021).

La propuesta de González-Galli *et al.* (2020) madurada en el artículo titulado: *La autorregulación del pensamiento teleológico en el aprendizaje de la selección natural*, cierra las fisuras existentes entre las intrigantes discusiones teóricas y metodológicas, sobre la teleología implícita en el fenómeno de adaptación biológica, motivando al diseño e implementación de unidades didácticas que fomentan la vigilancia metacognitiva en la enseñanza de las ciencias (Hammann & Nehm, 2020).

La vigilancia metacognitiva en la enseñanza del fenómeno de adaptación biológica, debe permitir indagar sobre el valor adaptativo de un rasgo desde su génesis histórica, al respecto Kampourakis (2013) basado en planteamientos de Ernst Mayr propone abordar explicaciones que profundicen causas últimas (evolutivas) y no en causas finales o próximas (teleológicas), enfatizando en que las investigaciones en la enseñanza del fenómeno de Adaptación Biológica, no es si los estudiantes proporcionan explicaciones teleológicas, sino en qué etiologías se basan estas explicaciones (Kampourakis, 2020), estas explicaciones etiológicas son retrospectivas, ya que se dan en respuesta a preguntas sobre el origen de la estructura o mecanismo a explicar (Trommler & Hammann, 2020).

Cabe señalar que tanto los profesores como los libros de texto escolares, utilizan regularmente formulaciones teleológicas, a pesar de no tener la intención de enseñarlas, por ejemplo, suelen explicar que el corazón evolucionó para bombear sangre y el significado subyacente de esta afirmación es que el corazón pasó por un proceso evolutivo, adaptándolo y configurándolo (González-Galli & Meinardi, 2011). Con relación a lo anterior, resulta importante que los profesores de biología se den cuenta que es legítimo afirmar, por ejemplo, *que los seres humanos tienen un corazón para bombear sangre*, lo que deberían por lo tanto abordar no es la declaración en sí, sino la etiología de la consecuencia subyacente (Kampourakis, 2020); por lo general, los profesores asumen que sus estudiantes comprenden sus formulaciones teleológicas como metáforas y no fomentan reflexión sobre este tipo de pensamiento (Werth, 2012).

Una de las posibles reflexiones que enmarcan la enseñanza del fenómeno de adaptación biológica, otra de las subcategoría relacionadas con la categoría denominada abordaje didáctico, deriva de las diferentes discusiones de las perspectivas explicativas utilizadas en la ciencia escolar, para lo cual se recomienda utilizar una variedad de casos ejemplares, estos resultan importantes cuando se enseña este metaconocimiento abstracto, debido a que los estudiantes necesitan aplicarlo en conexión con ejemplos concretos para comprender completamente la adaptación (Trommler &Hammann, 2020). En este sentido es indispensable promover el análisis de rasgos adaptativos y presentarlos como hecho del mundo, que permitan a su vez una construcción de hechos científicos al interior del aula de ciencias (Lozano *et al.*, 2021), promoviendo de esta manera una educación científica en contexto (Izquierdo-Aymerich, 2017).

Centrándose en las reflexiones de naturaleza teórica, los profesores han argumentado que las explicaciones teleológicas pueden ser desafiadas al confrontar a los estudiantes con la existencia de rasgos que no tienen una función, como las alas de avestruces, o inexistentes rasgos que pueden satisfacer las necesidades de un individuo, como las branquias de las ballenas (Kampourakis *et al.*, 2012). Además de lo anterior, Schramm & Schmiemann (2019) afirman que el pensamiento teleológico puede hacerse evidente cuando los alumnos responden a preguntas evolutivas que contienen la palabra "por qué", debido a que estas interpretaciones pueden implicar que los estudiantes asumen que los procesos biológicos siguen una función, en lugar de ser el resultado de un conjunto complejo de factores evolutivos.

De igual manera la revisión sistemática permitió identificar dos supuestos que hacen explícito las implicaciones del pensamiento teleológico en la enseñanza del fenómeno de adaptación biológica, el primero de corte epistemológico y el segundo de corte didáctico-psicológico (González-Galli, 2019):

- El primer supuesto está relacionado con la idea de que *existe teleología en la Biología*, en este supuesto se hace alusión a la idea de par categorial, problema-solución de Caponi (2003) donde intrínsecamente hay un lenguaje teleológico, debido a que se hace alusión a como una variante favorece a depredadores. Dennett (2017) por su parte afirma, que Darwin naturalizó la teleología, cuando ofreció explicaciones sobre el diseño biológico, que es precisamente lo que se denomina fenómeno de Adaptación Biológica. Además de lo anterior, en la biología erudita se utiliza la supervivencia y la reproducción como puntos de referencia epistemológicos cuando se le atribuye funciones a las estructuras (teleología epistemológica) sin asumir, por supuesto, que la supervivencia y la reproducción son fines inherentes a la naturaleza (Hammann & Nehm, 2020, p. 2).
- En el segundo supuesto se afirma que *no es posible ni deseable eliminar el pensamiento teleológico de explicaciones relacionadas con el fenómeno de Adaptación Biológica*, al respecto González-Galli (2019) comenta que el lenguaje teleológico en la biología no es un recurso retórico, sino la expresión de un estilo de explicación propia del modelo de selección natural. Hammann & Nehm (2020) por su parte mencionan que los educadores de la evolución consideran que las ideas teleológicas científicamente inaceptables son obstáculos importantes para la comprensión de la evolución; debido a que se evidencia en las explicaciones, conceptos relacionados con variantes heredables,

funcionalidad e intencionalidad, para estos autores las explicaciones teleológicas adoptan múltiples formas, existiendo tipos de teleología científicamente aceptables¹.

REFLEXIONES FINALES

Los aspectos implicados en los obstáculos epistemológicos relacionados con la enseñanza del fenómeno de adaptación biológica, se pueden categorizar a juicio de los autores como: análisis representacional, sesgos cognitivos y abordaje didáctico. Esta categorización se alinea con reportes de investigaciones en las que se señalan cuestiones que deben ser atendidas desde la enseñanza contextual del fenómeno objeto de estudio (Trommler & Hammann, 2020) y desde el tipo de trabajo educativo requerido para que los estudiantes aprendan biología evolutiva, necesitando docentes con un alto grado de apropiación, tanto de biología evolutiva como de asuntos metacientíficos (González-Galli *et al.*, 2020).

Según los análisis realizados, los obstáculos epistemológicos reportados en la literatura sobre el fenómeno de adaptación biológica, están fuertemente ligados a la teleología, al respecto se sugiere que desde la enseñanza del fenómeno de adaptación por selección natural, se pretenda que los estudiantes puedan explicar que la naturaleza no está dirigida hacia un fin o propósito, por tanto se requiere el diseño e implementación de materiales que estimulen las discusiones sobre los objetivos en biología y proporcionen evidencias en contra de supuestos teleológicos inadecuados, distinguiendo entre funciones y mecanismos biológicos, abordándose explícitamente el hecho de que no hay fines o metas en la naturaleza (Trommler & Hammann 2020).

Con relación a lo anterior, investigaciones como las de Brown *et al.*, 2020; y Trommler & Hammann 2020, desde sus propuestas relacionadas con el mecanismo de adaptación por selección natural y los sesgos teleológicos que emergen al ser enseñado, recurren a Evans 2013 y a Kampourakis & Zogza 2009 respectivamente, (identificadas en la referencia de estos artículos), para aludir que estas propuestas apuntan a un posible cambio conceptual, siendo este cambio el resultado de un proceso racional de reemplazo de los modelos de los estudiantes por modelos aceptados desde la comunidad científica, lo cual se supone se da en un corto período de tiempo, a partir del conflicto cognitivo como la estrategia de enseñanza empleada para lograr tal cambio (Tamayo, 2016). Desde la didáctica de las ciencias, se evoca más bien a una progresión de los modelos de los estudiantes, contemplando un recorrido o itinerario de progresión (Oliva, 2019), que partiría de los modelos personales intuitivos de los alumnos, teniendo como referentes otros más complejos y coherentes con el currículum escolar (Clement, 2000), se resalta entonces que el sesgo teleológico no debe modificarse sino vigilarse metacognitivamente, por parte tanto de estudiantes como de los profesores (Gonzalez-Galli *et al.*, 2020).

¹ Monod (1993) usa el término “*teleonomía*” para referirse a formas científicamente aceptables de teleología.

Los autores del presente artículo apoyados en Izquierdo-Aymerich & Aduriz-Bravo (2021), consideran que profesores y estudiantes desde una enseñanza modelo-teórica, podrían saborear en las clase de ciencias, una manera teórica de conocer el mundo, gracias a la actividad científica escolar llevada adelante por ellos con osadía y autonomía de pensamiento, acción y discurso. A esta enseñanza modelo-teórica se integraría la construcción de hechos científicos (Lozano, 2015), dando lugar a la contextualización del fenómeno a enseñar, desde el abordaje de problemas significativos para la sociedad (Lozano *et al.*, 2021), por ejemplo, los impactos biológicos del cambio climático, el control de pandemias, entre otros (Brown, *et al.*, 2020).

La presente revisión pone de manifiesto la necesidad de potenciar investigaciones que incluyan aspectos involucrados en los obstáculos epistemológicos reportados en la literatura, a partir del análisis representacional y los sesgos cognitivos relacionados con el fenómeno de adaptación biológica (Schramm & Schmiemann, 2019; Hammann & Nehm, 2020; Brown *et al.*, 2020; Kampourakis, 2020 y Hanisch & Eirdosh, 2021); promoviendo desde la didáctica de las ciencias, diferentes investigaciones relacionadas con la teleología implícita en la construcción de explicaciones relacionadas con el fenómeno de adaptación, posibilitando el diseño de nuevas líneas sobre las cuales se valoren las conexiones entre la didáctica, la epistemología y el modelo de selección natural, explicado este a través del fenómeno de adaptación biológica.

Finalmente, se considera necesario que los profesores y profesoras de biología incluyan en su ejercicio docente el fenómeno de adaptación biológica, fenómeno que explica el modelo de selección natural, permitiendo a los estudiantes entender los cambios multigeneracional que ocurren en el interior de una población, debido a la variación genética aleatoria, por lo cual se debe partir del diseño de actividades que coadyuven a una revisión consciente sobre lo que se enseña de dicho fenómeno, orientando a los estudiantes a la vigilancia metacognitiva de sus razonamientos (Ronfard *et al.*, 2021; Hanisch & Eirdosh, 2021; Werth & Allchin, 2020; Gresch, 2020; Trommler & Hammann, 2020).

REFERENCIAS

- Amador-Rodríguez, R. Y. (2018). *La Naturaleza de la Ciencia Representada en Libros de Texto de Química Latinoamericanos*. (Tesis doctoral). Facultad de ingeniería, Universidad Nacional del Comahue, Neuquén, Argentina.
- Brown, S., Ronfard, R. & Kelemen, D. (2020). Teaching natural selection in early elementary classrooms: can a storybook intervention reduce teleological mis understandings?. *Evolution: Education and Outreach*, 13(12), 1-19. <https://doi.org/10.1186/s12052-020-00127-7>
- Catley, K. & Novick, L. (2008). Seeing the wood for the trees: an analysis of evolutionary diagrams in biology textbooks. *Biociencia*, 58(10), 976-987.
- Caponi, G. (2003). Darwin: entre Paley y Demócrito. *História, Ciências, Saúde. Manguinhos*, 10(3), 993-1023.
- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041-1053. <https://doi.org/10.1080/095006900416901>
- Dennett, D. (2017). De las bacterias a Bach. La evolución de la mente. Barcelona, España: Pasado y Presente.
- Dupré, J. (2006). El legado de Darwin. Qué significa hoy la evolución. Buenos Aires, Argentina: Katz.

- Emmons, N., Smith, H., & Kelemen D. (2016). Changing minds with the story of adaptation: strategies for teaching young children about natural selection. *Early Education and Development*, 27(8), 1205-1221. <https://doi.org/10.1080/10409289.2016.1169823>
- Futuyma, D. (2009). *Evolution*. Sunderland: Sinauer.
- Forber, P. (2014). Debating the power and scope of adaptation. En K, Kampourakis (Ed). *The Philosophy of Biology: A Companion for Educators* (pp. 145-160). Springer.
- González-Galli, L. (2011). Obstáculos para el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural (Tesis doctoral). Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Buenos Aires, Argentina. https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/collection/tesis/document/tesis_n4961_GonzalezGalli
- González-Galli, L. (2019). Permitido decir “para”: crítica de la perspectiva tradicional frente al problema de la teleología en la enseñanza de la biología. *Revista Científica*, 34(1), 49-62. <https://doi.org/10.14483/23448350.13710>
- González-Galli, L., Pérez, G. & Gómez Galindo, A. (2020). The self-regulation of teleological thinking in natural selection learning. *Evolution: Education and Outreach*, 13(6). <https://doi.org/10.1186/s12052-020-00120-0>
- González-Galli, L. & Meinardi, E. (2011). The role of teleological thinking in learning the Darwinian model of evolution. *Evolution: Education and Outreach*, 4(1), 145–52. <https://doi.org/10.1007/s12052-010-0272-7>
- Gresch, H. (2020). Teleological explanations in evolution classes: video-based analyses of teaching and learning processes across a seventh-grade teaching unit. *Evolution: Education and Outreach*, 13(10), 1-19. <https://doi.org/10.1186/s12052-020-00125-9>
- Hammann, M. & Nehm, R. (2020). Teleology and evolution education: introduction to the special issue. *Evolution: Education and Outreach*, 13(16), 1-5. <https://doi.org/10.1186/s12052-020-00130-y>
- Hanisch, S. & Eirdosh, D. (2021). Causal mapping as a teaching tool for reflecting on causation in human evolution. *Science & Education*, 30 993–1022. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00157-z>
- Izquierdo-Aymerich, M. & Aduriz-Bravo, A. (2021). Contribuciones de Giere a la reflexión sobre la educación científica. *Revista de Estudios Sobre la Ciencia y la Tecnología*, 10(1), 75-87. <https://doi.org/10.14201/art20211017587>
- Izquierdo-Aymerich, M. (2017). Atando cabos entre contexto, competencias y modelización. ¿Es posible enseñar ciencias a todas las personas? *Modelling in Science Education and Learning*, 10(1), 309-325. <https://doi.org/10.4995/msel.2017.6637>
- Kampourakis, K. (2013). Teaching about adaptation: why evolutionary history matters. *Science & Education*, 22(2), 173-188.
- Kampourakis, K. (2020). Students’ “teleological misconceptions” in evolution education: why the underlying design stance, not teleology per se, is the problem. *Evolution: Education and Outreach*, 13(1). <https://doi.org/10.1186/s12052-019-0116-z>
- Kampourakis, K., Palaiokrassa, E., Papadopoulou, M., Pavlidi, V. & Argyropoulou, M. (2012). Childrens’ intuitive teleology: shifting the focus of evolution education research. *Evolution: Education and Outreach*, 5, 279–291. <https://doi.org/10.1007/s12052-012-0393-2>
- Kampourakis, K. & Zogza, V. (2009). Preliminary evolutionary explanations: a basic framework for conceptual change and explanatory coherence in evolution. *Science & Education*, 18(10), 1313-1340.
- Kelemen, D. (2012). Teleological minds: How natural intuitions about agency and purpose influence learning about evolution. En Rosengren, K.; Brem, S.; Evans, E. y Sinatra, G. (Eds), *Evolution challenges:*

Integrating research and practice in teaching and learning about evolution (pp.66-92). Oxford University Press.

Kummer, T., Whipple, C. & Jensen J. (2016). Prevalence and persistence of misconceptions in tree thinking. *Microbiol Biol Educ*, 17(3), 389–98. <https://doi.org/10.1128/jmbe.v17i3.1156>

Lozano, E., Mut, P., Cremer, C. & Bahamonde, N. (2021). Integración disciplinar y metacientífica en la formación del profesorado: la construcción de los hechos científicos. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 20(1), 154-176. Recuperado de http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen20/REEC_20_1_8_ex1812_512.pdf

Lozano, E. (2015). Diseño, implementación y evaluación de una unidad didáctica para la enseñanza de modelos de membrana celular en la formación biológica del profesorado, con aportes de ideas metacientíficas provenientes del eje naturaleza de la ciencia. *Revista de Educación en Biología*, 18(2), 76–79. Recuperado de <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaadbia/article/view/22473>

Mogie, M. (2000). Bagaje histórico en biología: el caso de especies 'superiores' e 'inferiores'. *BioEssays*, 22(9), 868–9.

Nieswandt, M. & Bellomo, K. (2009). Written extended-response questions as classroom assessment tools for meaningful understanding of evolutionary theory. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(3), 333–356.

Oliva, J. M. (2019). Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 37(2), 5-24. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2648>

Perez, G. (2021). La regulación metacognitiva de los obstáculos epistemológicos en la construcción de modelos de biología evolutiva en la escuela média. (Tesis doctoral). Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Buenos Aires, Argentina..

Price, R. & Perez, K. (2016). Beyond the adaptationist legacy: updating our teaching to include a diversity of evolutionary mechanisms. *The American Biology Teacher*, 78(2), 101–108. <https://doi.org/10.1525/abt.2016.78.2.101>

Puig-Samper, M. A. (2019). *Historias mínimas del evolucionismo*. Ciudad de México, México: El Colegio de México.

Ronfard, S., Brown, S., Doncaster, E. & Kelemen, D. (2021). Inhibiting intuition: scaffolding children's theory construction about species evolution in the face of competing explanations. *Cognición*, 211, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2021.104635>

Ruse, M. (2001). *The evolution wars: a guide to the debates*, New Brunswick, New Jersey, United States of America: Rutgers University Press.

Ruse, M. (2010). Darwinism then and now: the divide over form and function. *Science & Education*, 19(4-5), 367-389. <https://doi.org/10.1007/s11191-009-9192-8>

Shtulman, A., Neal, C. & Lindquist, G. (2016). Children's ability to learn evolutionary explanations for biological adaptation. *Early Education and Development*, 27(8), 1222-1236. <https://doi.org/10.1080/10409289.2016.1154418>

Schramm, T. & Schmiemann, P. (2019). Teleological pitfalls in reading evolutionary trees and ways to avoid them. *Evolution: Education and Outreach*, 12(20). <https://doi.org/10.1186/s12052-019-0112-3>

Tamayo, O. (2016). De las concepciones alternativas a la modelización en la enseñanza. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 12(2), 7-12.

- Toma, R. (2020). Revisión sistemática de instrumentos de actitudes hacia la ciencia (2004-2016). *Enseñanza de las Ciencias*, 38(3), 143-159. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2854>
- Trommler, F. & Hammann, M. (2020). The relationship between biological function and teleology: Implications for biology education. *Evolution: Education and Outreach*, 13(11). <https://doi.org/10.1186/s12052-020-00122-y>
- Urrútia, G. & Bonfill, G. (2010). Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Medicina Clínica*, 135(11), 507-511. <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2010.01.015>
- Van Dijk, E. (2009). Teachers' views on understanding evolutionary theory: a PCK-study in the framework of the ERTE-model. *Teaching and teacher education*, 25(2), 259-267.
- Werth, J. (2012). Avoiding the pitfall of progress and associated perils of evolutionary education. *Evolution: Education and Outreach*, 5(2), 249–265. <https://doi.org/10.1007/s12052-012-0417-y>
- Werth, A. & Allchin, D. (2020). Teleology's long shadow. *Evolution: Education and Outreach*, 13(4). <https://doi.org/10.1186/s12052-020-00118-8>

Recebido em: 29.08.2022

Aceito em: 28.03.2023