

Los estudiantes como teleólogos predarwinianos: una propuesta para abordar el problema de la teleología en la enseñanza de la Biología

Students as predarwinian teleologists: a proposal for addressing the problem of teleology in Biology education

Leonardo González Galli¹, Yefrin Ariza², Santiago Ginnobili³

¹ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET); Instituto de Investigaciones CeFIEC, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires leongalli@gmail.com

² Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Católica del Maule angelyefrin@gmail.com

³ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET); Centro de Estudios de Filosofía e Historia de la Ciencia, Universidad Nacional de Quilmes; Universidad de Buenos Aires santi75@gmail.com

Recibido: 3/6/2022

Aceptado: 13/10/2022

Copyright ©

Facultad de CC. de la Educación y Deporte.
Universidad de Vigo



Dirección de contacto:

Leonardo González Galli.

Intendente Güiraldes 2160 C1428EGA,
Ciudad Autónoma de Buenos Aires
Argentina

Resumen

En este trabajo presentamos los fundamentos teóricos de una propuesta para el abordaje didáctico de concepciones teleológicas de los y las estudiantes en la enseñanza de la Biología. La propuesta en cuestión supone acudir al modo en que Darwin lidió con las concepciones teleológicas dominantes entre sus contemporáneos, para proponer una estrategia general a través de la cual se podría incidir sobre las intuiciones teleológicas de los estudiantes, de modo que se pueda facilitar el aprendizaje de la teoría de la selección natural. Sugeriremos también que esta propuesta implica un modo original de apelar a la analogía entre el cambio teórico en la Historia de la Ciencia y el aprendizaje de las ciencias.

Palabras clave

Teoría de la Selección Natural, Teleología, Didáctica de la Biología, Historia de la Ciencia, Biología Evolutiva

Abstract

In this paper we present the theoretical foundations of a proposal for a didactic treatment of students' teleological conceptions in the teaching of Biology. The proposal in question involves resorting to the way Darwin dealt with the dominant teleological conceptions of his contemporaries, in order to propose a general strategy through which students' teleological intuitions could be influenced, so as to facilitate the learning of the theory of natural selection. We will also suggest that this proposal implies an original way of appealing to the analogy between theoretical change in the history of science and science learning.

Key Words

Theory of Natural Selection, Teleology, Didactics of Biology, History of Science, Evolutionary Biology

“La flor replicó: ¡Necio! ¿Acaso crees que florezco para que me miren? Florezco para mí, porque me place, no para los demás. Mi júbilo está en mi ser y en mi florecer”.
Arthur Schopenhauer

1. INTRODUCCIÓN

La teoría de la evolución constituye un contenido central del currículo de Biología de la enseñanza general obligatoria en Argentina. Más específicamente, la teoría de la selección natural (TSN) constituye uno de los contenidos más importantes que todas las y los estudiantes deberían aprender, debido tanto al lugar central que ocupa en la Biología, como a los impactos que ha tenido fuera de ella. Sin embargo, numerosas investigaciones muestran que los aprendizajes en relación con la TSN son muy deficientes (p.e., Alters y Nelson, 2002; Smith, 2010b). Aunque se han identificado diversos factores corresponsables de esta situación, se reconoce que las concepciones intuitivas previas a la instrucción (Bishop y Anderson, 1990; González Galli y Meinardi, 2017; Griffith y Brem, 2004; Smith, 2010a, 2010b), en general erróneas desde el punto de vista científico y altamente resistentes al cambio, constituyen uno de los principales factores que limitan el aprendizaje de estos contenidos.

Uno de los principales supuestos (generalmente implícito) en que se basan estas concepciones es que los sistemas y procesos biológicos están orientados a ciertos fines preestablecidos, es decir, se basan en supuestos finalistas o teleológicos. En este sentido, y de acuerdo con los resultados de numerosas investigaciones en psicología cognitiva, el supuesto teleológico sería uno de los fundamentos de la “biología de sentido común” de las personas (Keil, 2002; Wellman, 1990).

Estas investigaciones revelan que dicho sesgo aparece muy tempranamente en el desarrollo y que, si bien con variaciones, persiste hasta la adultez. Bajo este marco, el sesgo teleológico sería una parte constitutiva de la cognición normal que marcaría la construcción de concepciones sobre lo vivo. Cuanto más avanzado esté el desarrollo, más complejo, coherente y resistente al cambio será el entramado de concepciones del que el sesgo teleológico será parte constituyente (Kelemen, 2012). Así, por un lado, no será fácil que las y los estudiantes abandonen dicho sesgo a partir de estrategias educativas basadas en la versión “fuerte” de la teoría del cambio conceptual¹. Y, por otro lado, si consideramos el carácter funcional de este sesgo (por ejemplo, su valor predictivo), dicha eliminación no solo no sería posible, sino que tampoco sería deseable. Por lo tanto, desde la psicología y la didáctica de las ciencias se arriba a la conclusión de que el objetivo educativo no puede ser la eliminación de las concepciones teleológicas (González Galli et al., 2020).

El problema es que estas intuiciones teleológicas resultan en algunos aspectos incompatibles con la TSN. Por ejemplo, dificultan comprender el carácter aleatorio de las mutaciones genéticas. La inviabilidad de eliminar el sesgo teleológico lleva a centrar la atención en el desarrollo de la capacidad para regularlo. En otros trabajos (p.e., González Galli y Meinardi, 2015, 2011; González Galli et al., 2020) el pensamiento teleológico ha sido caracterizado como un “obstáculo epistemológico”, y se ha sugerido que el principal objetivo didáctico sería el desarrollo de una “vigilancia metacognitiva” que implicaría: (1) un conocimiento acerca de lo que es el pensamiento teleológico, (2) la capacidad de reconocer sus múltiples expresiones, y (3) la capacidad de regular su uso según el contexto. En el mismo sentido, se menciona también la necesidad de que

las y los estudiantes puedan inhibir sus intuiciones teleológicas para pensar científicamente en ciertos contextos (Kelemen et al., 2013). Así, el desafío consistiría en ayudar a las y los estudiantes a regular sus intuiciones teleológicas de modo que resulten compatibles con los modelos científicos, y no en intentar eliminarlas.

Los posibles modos de trabajo para tender a este objetivo didáctico son muy diversos, y desde el área de investigación conocida internacionalmente como HPS –de *History and Philosophy of Science and Science Teaching*– (Matthews, 1994, 2017) se han enfatizado los potenciales beneficios de incluir la historia de la ciencia (HC) en la enseñanza para el abordaje de ideas intuitivas de las y los estudiantes. Más específicamente, se ha señalado que el análisis del cambio teórico en la HC puede dar “pistas” sobre cómo podría favorecerse el cambio en las representaciones intuitivas del estudiantado (De Vecchi y Giordan, 2006; Driver et al., 1992; Gauld, 1991; Johsua y Dupin, 2005; Marín Martínez, 1997; Matthews, 2017; Piaget y García, 1980; Wandersee y Roach, 1998, entre otros). La analogía entre el cambio de la representación en las y los estudiantes con el cambio teórico en la HC ha recibido críticas (debe abordarse con ciertas precauciones) y aunque estos dos ámbitos difieren en varios aspectos, “coinciden en otros [;] la comparación entre ambos permite una reflexión interesante” (Izquierdo-Aymerich, 2004, p. 130). Continuando con lo propuesto en Ginnobili et al. (2022), el principal objetivo de este trabajo es presentar los fundamentos teóricos de una propuesta sobre cómo tratar las concepciones teleológicas de las y los estudiantes en la enseñanza de la Biología y mostrar cómo dicha propuesta teórica puede utilizarse para el diseño de actividades concretas para el trabajo en el aula. La propuesta en cuestión supone acudir al modo en que Darwin lidió con las concepciones teleológicas dominantes entre sus contemporáneos, para proponer una estrategia general a través de la cual se podría incidir sobre las intuiciones teleológicas de las y los estudiantes. Sugeriremos también que esta propuesta implica un modo original de apelar a la analogía entre el cambio teórico en la HC y el aprendizaje.

2. LAS CONCEPCIONES TELEOLÓGICAS DEL ESTUDIANTADO

La caracterización de las concepciones teleológicas de las y los estudiantes revela ciertos patrones explicativos intuitivos recurrentes en relación con la evolución (ver González Galli y Meinardi, 2015). Nuestro interés radica aquí, no en el modo en que las y los estudiantes explican el cambio evolutivo, sino en la cuestión relacionada de cómo atribuyen funciones a los rasgos biológicos. La investigación en psicología cognitiva ha revelado que niñas y niños adoptan una suerte de “teleología promiscua” que implica asumir que todo tipo de entidades naturales (no solo los seres vivos y sus partes) existen y son como son *para* cumplir cierto fin. Es frecuente que dicho fin se relacione con las necesidades e intereses humanos. Así, por ejemplo, pueden sostener que las montañas existen para que la personas esquíen (Kelemen, 1999). A medida que crecen, las niñas y niños escolarizados van restringiendo el alcance de ese supuesto teleológico, y es difícil que sostengan afirmaciones teleológicas como la que recién citamos. Sin embargo, mantienen la mirada teleológica cuando analizan a los organismos y sus partes. Si bien muchas veces asumen que el fin de los rasgos biológicos es servir a la supervivencia de sus poseedores (algo coherente con la TSN), es frecuente que piensen en términos de otros tipos de fines: por ejemplo, la supervivencia de la especie o del ecosistema. Así,

aunque el sesgo teleológico en la adolescencia y adultez no es *tan* “promiscuo” como en la niñez, lo sigue siendo en relación con el modo en que la atribución funcional ocurre en la práctica científica en dónde las funciones de rasgos se encuentran relacionadas con la supervivencia y reproducción de los organismos que los portan. La teleología “promiscua”, entonces, implica una utilización acrítica y no conscientemente regulada de los razonamientos teleológicos, lo que con frecuencia lleva a explicaciones incompatibles con la TSN.

3. IMPORTANCIA DE LA HISTORIA DE LA CIENCIA PARA LA ENSEÑANZA DE LA CIENCIA

Actualmente existe un fuerte consenso sobre la importancia de las metaciencias, especialmente de la filosofía de la ciencia y la HC, para la enseñanza de las ciencias y la formación del profesorado de ciencias (Adúriz-Bravo y Ariza, 2012). Bajo estas perspectivas se reconoce que siempre que se enseñan contenidos científicos, se enseña también cierta imagen sobre la ciencia, favoreciendo en las y los estudiantes la construcción de ciertas concepciones sobre *qué es* la ciencia y *cómo se produce*. Dado lo instauradas que están ciertas “visiones deformadas” sobre la ciencia (Fernández et al., 2002), es necesario que el profesorado construya una perspectiva sofisticada sobre la ciencia que sea acorde con los actuales desarrollos metacientíficos, para, de este modo, fomentar en sus clases concepciones sobre la ciencia adecuadas. Así, si nos preguntamos por la importancia de la HC para la enseñanza una primera respuesta es que se trata de una disciplina metacientífica fundamental para la construcción de una imagen adecuada de ciencia (Matthews, 1994). Esta sería, a su vez, una condición necesaria para una enseñanza de las ciencias acorde con la alfabetización científica para el ejercicio de una ciudadanía crítica (Adúriz-Bravo y Ariza, 2012). En este sentido, Álvarez Lires (2014) identifica al menos dos grandes vertientes: una didáctica, de acuerdo con la cual la HC podría contribuir a un mejor aprendizaje de los modelos científicos que se van a enseñar, y otra cultural, en el sentido de que la HC podría contribuir a que las y los estudiantes construyan mejores representaciones sobre la ciencia y sus relaciones con la sociedad. Por ejemplo (y particularmente en relación con la primera vertiente) cuando existe cierta similitud (aunque sea limitada) entre algunas concepciones –erróneas desde el punto de vista de la ciencia actual– de las y los estudiantes y de la comunidad científica del pasado, se puede proponer al estudiantado analizar críticamente esas ideas de la ciencia del pasado. Esto permite poner en cuestión dichas ideas de un modo indirecto, que no ubica a las y los estudiantes en el lugar del sujeto evaluado (es a la comunidad científica del pasado a quien se está cuestionando). Esto, a su vez, permite una reflexión metacognitiva por parte del estudiantado que implica preguntarse si el propio pensamiento se parece en algún grado y sentido a esas ideas del pasado discutidas en clase.

Si bien nuestra propuesta podría vincularse con la segunda vertiente, el uso de la HC que propondremos aquí se centrará en la primera vertiente en un doble sentido: por un lado, tomaremos en un sentido muy específico (y, según creemos, original) la analogía entre la HC y el aprendizaje individual. Por otro lado, el mismo episodio histórico que utilizaremos en dicha analogía se convertirá en un insumo (no necesariamente el único ni el principal) para enseñar ciertos contenidos de Biología con el fin de intentar superar

algunas dificultades relacionadas con el obstáculo teleológico al que hicieramos referencia en secciones previas.

4. LA ANALOGÍA ENTRE LA HISTORIA DE LA CIENCIA Y EL APRENDIZAJE EN LAS AULAS

La analogía entre la construcción del conocimiento en la HC y en el alumnado ha sido muy explorada y puede adoptar distintas formas según sean las entidades (estructuras o procesos) específicas que se están comparando. Así, pueden compararse las teorías, es decir, los sistemas conceptuales de la comunidad científica del pasado con los de las y los estudiantes. También puede compararse la evolución de dichos sistemas conceptuales, es decir, la sucesión específica de teorías tal como ocurrieron en la HC y tal como podrían ocurrir en los procesos de aprendizaje. Finalmente, pueden compararse los procesos de construcción de conocimiento y cambio teórico en la comunidad científica y en el estudiantado (Gauld, 1991; Marín Martínez, 1997; Thagard, 1992; Ariza et al., 2020).

Los primeros trabajos sobre este tema se relacionaban con contenidos de la Física (ver, por ejemplo, Carey, 1985; Driver et al., 1992; y Piaget y García, 1980). En el ámbito de la Biología, De Vecchi y Giordan (2006) señalan la convergencia entre las ideas del alumnado y de la ciencia del pasado en relación con la naturaleza de los espermatozoides, y Wandersee (1986) encontró paralelismos entre las ideas de la HC y las del estudiantado en relación con la fotosíntesis. Es probable, sin embargo, que el caso más citado, para el ámbito de la Biología, sea el relacionado con las concepciones “lamarckianas” de las y los estudiantes. Este esquema explicativo incluye la idea de “herencia de los caracteres adquiridos”, frecuentemente asociada a la teoría de Lamarck. Por tal motivo, numerosos investigadores (por ejemplo, Geraedts y Boersma, 2006; Jiménez-Aleixandre, 1992; Settlege, 1994) han calificado de “lamarckianas” las concepciones del estudiantado. Más adelante analizaremos críticamente esta analogía.

La analogía entre las y los estudiantes actuales y comunidad científica del pasado, tal como señala Matthews (2017), está en la base de la primera teoría del cambio conceptual (Posner et al., 1982). De acuerdo con Matthews, la propuesta de Piaget (Piaget y García, 1980) fue tomada por Kuhn (1962), quien también asumió cierto paralelismo entre los mecanismos de cambio teórico en la ciencia y los de cambio conceptual en los individuos. Posteriormente, Posner et al. (1982) se habrían basado tanto en Piaget como en Kuhn (así como en Imre Lakatos, Stephen Toulmin y Karl Popper) para elaborar su modelo de cambio conceptual (Ariza, 2016)².

Aunque, como vimos, la analogía entre las y los estudiantes actuales y las científicas y científicos del pasado ha sido muy utilizada, también ha sido muy cuestionada. En relación con la comparación de los sistemas conceptuales se ha señalado que los parecidos son limitados y superficiales (Driver et al., 1992). Se ha observado, además, el riesgo del análisis anacrónico derivado del hecho de que los significados de esos elementos conceptuales acotados que parecen compartidos son diferentes en sus respectivos contextos (Driver et al., 1992; Johsua, y Dupin, 2005). También se ha destacado la diferencia en cuanto a la complejidad y coherencia entre ambos sistemas conceptuales: las teorías científicas del pasado son más complejas y consistentes que las teorías intuitivas de las y los estudiantes.

Resulta especialmente interesante el punto señalado por Harris (2002), quien destaca la inadecuación de los enfoques que pretenden comparar los procesos cognitivos de niñas y niños con la actividad colectiva, pública, explícita y colaborativa de formulación y evaluación de las teorías en la ciencia.

Por otra parte, Thagard (1992) señala que el cambio conceptual en la infancia no es tan sistemático y revolucionario como el que ocurre en la ciencia, y concluye que la “coherencia explicativa” es el principal factor en las revoluciones científicas. Esto es, las nuevas teorías se construyen para dar cuenta de fenómenos intrigantes que no son explicados por las teorías previas. Sostiene, además, que resulta problemático afirmar que en el caso de la niñez la coherencia explicativa tenga un rol tan importante como en el caso de la ciencia.

En relación con la enseñanza de la evolución, varios autores (González Galli y Meinardi, 2011; Kampourakis y Nehm, 2014; Kampourakis y Zogza, 2007) han revisado en profundidad el caso de la analogía entre las ideas de las y los estudiantes sobre evolución y la teoría de Lamarck. Kampourakis y Nehm (2014) cuestionan tanto la caracterización de “lamarckianas” de las concepciones intuitivas del estudiantado, como la inferencia didáctica según la cual el cambio conceptual en las y los estudiantes pueda compararse con el paso del paradigma lamarckiano al darwiniano. También denuncian que en la literatura sobre las concepciones de los y las estudiantes el término “lamarckiano” se utiliza con significados muy diferentes y que, en muchos casos, no se corresponden con las ideas de Lamarck.

La llamada de atención sobre las limitaciones de estas analogías se extiende necesariamente a ciertas estrategias didácticas inspiradas en ellas (Gauld, 1991). Así, Johsua y Dupin (2005) advierten que no se puede esperar que la presentación “histórica” de los contenidos de cierta disciplina resuelva las dificultades de su aprendizaje. Sin embargo, los mismos autores que señalan los riesgos y limitaciones de esta analogía (p.e., Johsua y Dupin, 2005, y Matthews, 2017) reconocen que, con las precauciones del caso, puede tener un gran valor heurístico. En este sentido, pareciera que “algunos de los procesos llevados a cabo en la 'ciencia de los científicos' pueden ser trasladados (habiendo sido interpretados y adecuados bajo objetivos, metodologías y contextos específicos) a la enseñanza de las ciencias” (Ariza et al., 2020, p. 463).

En lo que sigue propondremos una estrategia general para abordar el problema de las concepciones teleológicas del estudiantado en la enseñanza de la Biología que supondrá una recuperación idiosincrática de la analogía entre el cambio teórico en la historia del evolucionismo y el aprendizaje de las y los estudiantes.

5. LA BIOLOGÍA FUNCIONAL ANTES Y DESPUÉS DE DARWIN

En relación con la noción de función existe una polémica no saldada en la filosofía de la Biología, y en la interpretación que la comunidad científica da a su propia área. Existe acuerdo en que Darwin cambió drásticamente el modo en que se concebía la teleología, pero no en cómo concebir metateóricamente dicho cambio. Independientemente de esta discusión filosófica, desde la historiografía no suele prestarse atención al modo en que Darwin modificó las atribuciones funcionales previas (Caponi, 2011; Ginnobili, 2014). Pues, el tipo de funciones atribuidas por los

naturalistas predarwinianos resultó modificado de manera consciente y explícita por Darwin. Es este el punto sobre el cual nos enfocamos en este trabajo. De acuerdo con la teoría de Darwin, la selección natural solo puede aumentar la frecuencia poblacional de aquellas variantes de un rasgo que incrementan la supervivencia y reproducción de los individuos portadores de dichas variantes³. Esto implica que la selección jamás podría favorecer exclusivamente ciertas variantes por las ventajas que estas implicaran para individuos de otras especies o para alguna entidad supraindividual, tal como el ecosistema.

Así, desde el punto de vista de la TSN, no sería correcto, por ejemplo, afirmar que la razón por la cual las bacterias del suelo descomponen los restos orgánicos es que dicha actividad facilita la nutrición vegetal: la función de esa actividad metabólica es alimentar las propias bacterias, siendo la facilitación de la nutrición vegetal una consecuencia incidental de dicha actividad. Contra esto, los naturalistas predarwinianos con frecuencia atribuían funciones a los organismos y sus partes cuyos beneficiarios no eran los propios organismos. Por ejemplo, para William Paley, la función de los frutos es alimentar a los animales (Paley, 1809, p. 351) y la de las flores es satisfacer el sentido estético humano (Paley, 1809, pp. 199-200). Este autor se permite incluso atribuir funciones a entidades no orgánicas, sugiriendo, por ejemplo, que la noche tiene la función de permitir el sueño de los animales (Paley, 1809, p. 295). Paley es, en relación con esta cuestión, representativo del pensamiento de los naturalistas de la época y, por lo tanto, ejemplo paradigmático del tipo de biología funcional contra la que Darwin iba a proponer su teoría. Podemos decir, recuperando un término introducido en secciones previas, que los naturalistas predarwinianos atribuían funciones de un modo “promiscuo” (Ginnobili et al., 2022).

¿Qué hizo Darwin para aumentar las probabilidades de aceptación de su teoría en este contexto teórico? En este punto es importante distinguir lo que, probablemente, fue el proceso cognitivo mediante el cual Darwin puso en cuestión la biología funcional de su época, por un lado, de la estrategia argumental que luego utilizó de cara a sus interlocutores para defender su teoría, por el otro. En relación con lo primero, es probable que, una vez convencido de la adecuación de su teoría, Darwin comprendiera que la atribución funcional “promiscua” resultaba incompatible con la selección natural. Es decir, fue la TSN la que lo llevó a desconfiar del modo en que sus contemporáneos atribuían funciones. Este primer momento supone, por así decirlo, un movimiento “privado” desde la biología evolutiva hacia la biología funcional. En relación con lo segundo, Darwin dedicó muchos esfuerzos para mostrar lo errado de la atribución funcional “promiscua” sin apelar a la biología evolutiva, basándose exclusivamente en argumentos de la biología funcional. Así, por ejemplo, argumentó que la función de los frutos era facilitar la dispersión de las semillas y no contribuir a la nutrición de los animales (Darwin, 1909, p. 92). Esto último puede interpretarse como una estrategia para incrementar las probabilidades de la posterior aceptación de su teoría al identificar (intencionalmente) atribuciones funcionales compatibles con (o explicables desde) la TSN: si los rasgos funcionales (adaptativos) sirven exclusivamente a sus poseedores, ese hecho demandaría una explicación que sería ofrecida por su teoría. Este segundo momento supone un movimiento “público” desde la biología funcional hacia la biología evolutiva en el que Darwin se basó en la biología funcional para apuntalar su TSN (Ginnobili et al., 2022). De hecho, este enfoque según el cual las funciones de los rasgos

sirven a sus poseedores puede entenderse como una condición de posibilidad para la aceptación de la teoría de la selección natural.

6. DOS ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS COMPLEMENTARIAS INSPIRADAS EN LOS DOS MOVIMIENTOS DARWINIANOS

No es casual que hayamos utilizado el término “promiscuo” para referirnos al modo en que los naturalistas predarwinianos atribuían funciones. Ese es el término que, siguiendo a Kelemen (1999), utilizamos antes para referirnos a la atribución de funciones en las niñas y niños. Y es aquí donde proponemos una analogía novedosa entre las y los estudiantes actuales y las científicas y científicos del pasado: en ambos casos encontramos una atribución de funciones “promiscua”. En este sentido restringido, las y los estudiantes actuales *son como* naturalistas predarwinianos. En ambos casos se atribuyen funciones tanto a entidades no biológicas como biológicas y, en este último caso, se permite que esas funciones estén al servicio de entidades diferentes del organismo poseedor del rasgo funcional. También en ambos casos es frecuente (aunque no siempre sucede) que se adopte una perspectiva según la cual el beneficiario de los rasgos funcionales es el ecosistema (o el mantenimiento de cierto “equilibrio natural”) o bien el ser humano (Ginnobili et al., 2022). Para desarrollar nuestra propuesta debemos recordar que Darwin (1) defendió –sin apelar a la teoría de la evolución– que los rasgos funcionales, las adaptaciones, benefician exclusivamente a sus poseedores individuales, y luego (2) mostró cómo la teoría de la selección natural era compatible con (y explicaba) ese hecho. A continuación, propondremos dos modos de trabajo didáctico que resultan análogos a ambos movimientos darwinianos.

Los enfoques para el tratamiento de las concepciones teleológicas de los estudiantes que propondremos aquí se inspiran en los dos momentos mencionados en la reestructuración que Darwin desarrolló en la biología funcional de su época. Como veremos, ambas estrategias son más complementarias que alternativas (Ginnobili et al., 2022).

Tal como mencionamos en la introducción, el sesgo teleológico ha sido caracterizado como un obstáculo epistemológico (González Galli y Meinardi, 2011, 2015). Desde dicho marco teórico se propone que el trabajo didáctico implica tres instancias (Astolfi y Peterfalvi, 2001): (1) desestabilización del obstáculo, (2) reconstrucción conceptual y (3) identificación del obstáculo. La “desestabilización”, relacionada con el llamado “conflicto cognitivo”, implica la explicitación del obstáculo y su eventual conflicto con otras concepciones o evidencias. La reconstrucción conceptual implica la construcción de modos de pensar alternativos al obstáculo, y la “identificación” se refiere al desarrollo de la capacidad para percibir el obstáculo y sus diversas manifestaciones. De acuerdo con este marco teórico, se asume que el obstáculo nunca desaparece y, por lo tanto, el objetivo es más bien lograr que las y los estudiantes puedan regularlo conscientemente. Desde esta perspectiva se plantea el desarrollo de una “vigilancia metacognitiva” (González Galli et al., 2020) que supone: (1) saber en qué consiste el obstáculo, (2) poder reconocer sus numerosas expresiones específicas y (3) poder regular su uso de acuerdo con el contexto y los objetivos cognitivos, teniendo como referencia alguna teoría científica. Como veremos, nuestras propuestas se relacionan principalmente con la desestabilización y con la identificación.

6.1. Estrategia didáctica basada en el movimiento darwiniano desde la biología funcional

En este caso se trata de promover que las y los estudiantes revisen su biología funcional intuitiva “promiscua”, tendiendo (sin apelar a la teoría de la evolución) a entender que las adaptaciones sirven exclusivamente a sus poseedores. Este enfoque sería análogo a la reestructuración de la biología funcional que Darwin propició en su época para aumentar las probabilidades de la posterior aceptación de su teoría (el “primer movimiento” darwiniano). En el caso de las y los estudiantes, el desarrollo de este tipo de estrategia podría luego facilitar la comprensión y reconstrucción escolar de la propuesta darwiniana al identificar fenómenos que pueden ser explicados con la TSN.

Este enfoque general puede adoptar diversas formas específicas. Nuestro análisis sirve para fundamentar un enfoque muy general para la enseñanza de la TSN. Muchas veces en la literatura se sostiene que la complejidad de la teoría implica que su enseñanza debe retrasarse hasta los primeros años de la escuela media, o, incluso, más allá. Este supuesto se refleja en las prescripciones curriculares que suelen incluir a la enseñanza de la TSN recién en los últimos años de la educación media. Aunque en los últimos años (Rofnard et al., 2021; Vázquez Ven y Bugallo Rodríguez, 2018) se ha defendido la conveniencia de comenzar la enseñanza de estos contenidos en la educación inicial, predomina aún el enfoque recién descrito. Sin embargo, los mismos diseños curriculares suelen incluir en el nivel inicial el tema “adaptaciones de los seres vivos”. Así, sugerimos que el abordaje temprano del fenómeno de la adaptación podría tener entre sus objetivos la construcción de la idea según la cual los rasgos adaptativos y las funciones sirven exclusivamente a sus poseedores individuales. Para tal fin, las y los estudiantes deberían involucrarse en el análisis de adaptaciones particulares para discutir, en cada caso, para quién el rasgo analizado representa una ventaja. La comprensión de que las adaptaciones son útiles principalmente para sus poseedores se constituiría en un fenómeno explicable (posteriormente) por la TSN. Así, en los niveles escolares siguientes el estudio de la TSN podría partir de la caracterización de los fenómenos que son explicados por la TSN; esto es, partir del reconocimiento de las aplicaciones intencionales de la teoría (Ariza et al., 2020).

En este proceso previo al estudio de la TSN convendría analizar diversos ejemplos de rasgos adaptativos para los que, desde la biología intuitiva, pudiera interpretarse que sirvieran a entidades diferentes del individuo que porta el rasgo analizado. Esto implicaría fomentar la explicitación de las concepciones de las y los estudiantes acerca de las ventajas del rasgo en cuestión para luego identificar la entidad presuntamente beneficiada. A continuación, se les puede sugerir pensar cómo podrían poner a prueba su hipótesis. Luego, se podría introducir información que cuestione dicha interpretación (ver Cuadro 1 para un ejemplo de actividad basada en esta propuesta). Este primer tipo de trabajo propuesto no implica recurrir necesariamente a la HC, pero es posible echar mano de ese recurso. Así, se pueden analizar las ideas de pensadores del pasado que se encuentran, por ejemplo, en los textos de naturalistas predarwinianos y de Darwin, lo que permitiría, como ya mencionamos, explicitar y poner en discusión las ideas de las y los estudiantes de un modo indirecto.

Dependiendo del lugar, en ciertas épocas del año es posible ver numerosas aves alimentándose de los frutos de algunos árboles. Esta observación, que se puede realizar fácilmente en una salida de campo, incluso en zonas urbanas, puede ser un buen motivo para plantear la cuestión de cuál es la función de los frutos o, más coloquialmente, “¿para qué producen frutos los árboles?”. A partir de esta observación, podemos plantear a las y los estudiantes la siguiente consigna:

“Discutan, en grupo, las siguientes preguntas:

i. ¿Para qué producen frutos los árboles? ¿Qué o quién se beneficia de la producción de frutos? ¿Cuál dirían que es la función de los frutos?

ii. Algunas personas creen, quizá como algunos o algunas de ustedes, que la función de los frutos es alimentar a las aves. Sin embargo, otras personas piensan que la función de los frutos es facilitar la dispersión de las semillas, lo que evita que las nuevas plantas crezcan alrededor de la planta madre, compitiendo por el agua y otros recursos. ¿Con cuál de las dos explicaciones están más de acuerdo y por qué? ¿Cómo podrían evaluar cuál de las dos hipótesis es más adecuada?”.

Algunas pistas para orientar el trabajo a partir de estas preguntas:

La “ingeniería reversa” es un modo de indagación usualmente utilizado en Biología para inferir la función de un rasgo. Consiste, básicamente, en analizar el rasgo en cuestión a partir de la pregunta “¿para qué *parece* diseñado?”. Este modo de hablar es metafórico: sabemos que, literalmente hablando, los rasgos biológicos no han sido diseñados. Pero encontramos heurísticamente útil esta metáfora porque la selección natural produce rasgos que *parecen* diseñados. Se trata de la metáfora del diseño que subyace a buena parte de la investigación en Biología (Ruse, 2000). Si aplicamos este razonamiento a los frutos carnosos de un árbol de los que se alimentan las aves, la conclusión puede no ser evidente. En efecto, si nos preguntamos ¿estos frutos *parecen* diseñados para alimentar a las aves o para dispersar las semillas? La respuesta será “¿para las dos cosas!” pero (y esto podría ser un problema) resulta más evidente la primera de las funciones. Es que, en algún sentido, el fruto debe ser ingerido por las aves para así cumplir su función dispersiva. Aquí es donde el análisis comparativo (otra herramienta usualmente utilizada en Biología) viene en nuestro auxilio. Si analizamos una gran diversidad de frutos veremos que muchos de ellos no muestran signos de estar *aparentemente* diseñados para alimentar animales, pero, en cambio, de un modo u otro, todos sirven para dispersar las semillas.

Cuadro 1. Actividad basada en la perspectiva “desde la biología funcional”: la función de los frutos

El tipo de análisis involucrado en estas actividades tiene la virtud añadida de que es representativo del modo en que en la Biología, especialmente en Fisiología, se atribuyen funciones. En efecto, lo habitual es que la atribución de funciones se lleve a cabo analizando la biología del organismo sin atender a su historia evolutiva (Caponi, 2010), aunque atendiendo a que dicha atribución sea compatible con el tipo de funciones que la selección podría producir. Para tal fin, se utilizan recursos conceptuales tales como la mencionada “ingeniería reversa”. Así, al realizar este tipo de análisis se puede generar un espacio de reflexión metacientífica al explicitar el modo en que se trabaja en la propia Biología.

6.2. Estrategia didáctica basada en el movimiento darwiniano desde la biología evolucionista

En este caso se trata de, una vez enseñada la TSN, proponer a las y los estudiantes revisar su biología funcional teniendo como referencia dicha teoría. Aquí, la TSN se constituye en una herramienta heurística para plantear hipótesis acerca de las posibles funciones de los rasgos y en una referencia para evaluar la aceptabilidad de dichas atribuciones funcionales (la adecuación de las hipótesis específicas debería determinarse mediante análisis propios de la biología funcional organísmica, y no de la biología evolutiva). Este enfoque sería análogo al modo en que Darwin, en sus escritos evolucionistas, defendió su TSN, al mostrar que era compatible con (y que podía explicar) el hecho de que los rasgos funcionales siempre fueran beneficiosos para los

individuos que los poseen. Un trabajo didáctico de este tipo contribuiría a visitar y repensar tanto la TSN como los conceptos de adaptación y función, así como el modo en que se atribuyen funciones.

Tal como sucede con la estrategia que hemos denominado “desde la biología funcional”, en este caso hay diversos modos de traducir la propuesta general en actividades concretas. A continuación, proponemos algunas posibilidades.

La observación más general derivada de este enfoque consiste en que si durante los años iniciales se trabajó sobre la reconfiguración de la biología funcional (tal como lo sugerimos en la sección previa) dicho trabajo facilitaría la posterior introducción de la TSN. Luego, una vez construida una primera versión de la teoría, se puede proponer a las y los estudiantes el análisis de ciertos rasgos adaptativos, invitándoles a plantear hipótesis sobre sus funciones. La idea es que, una vez que se explicitaron varias hipótesis, se les pide que discutan y argumenten si dichas hipótesis son o no consistentes con la TSN. En este caso, sería deseable analizar casos poco evidentes que inviten a plantear hipótesis potencialmente reñidas con la teoría darwiniana (Cuadro 2).

Podemos aquí retomar el caso de los frutos y plantear a los estudiantes la siguiente consigna:

“En el verano podemos ver cómo algunos árboles producen enormes cantidades de frutos y cómo numerosas aves se alimentan de dichos frutos. Algunas personas piensan que la razón por la que esos árboles producen frutos es alimentar a las aves. Otras personas, en cambio, creen que los árboles deben producir esos frutos para algún beneficio propio”.

Discutan, en grupo, las siguientes preguntas:

- i. ¿Cuál de estas interpretaciones les parece más adecuada?
- ii. ¿Cuál de estas interpretaciones les parece más compatible con la teoría de la selección natural”?

Cuadro 2. Actividad basada en la perspectiva “desde la biología evolucionista”: la función de los frutos (otra vez)

En este caso, al igual que en el de la estrategia mencionada en la sección anterior, podríamos también recurrir a la HC. Podemos, por ejemplo, proponer a las y los estudiantes analizar textos de naturalistas predarwinianos en los que se atribuyen funciones de un modo promiscuo, y pedirles que analicen si dichas atribuciones son o no consistentes con la TSN. El análisis de textos históricos es un caso particular de la estrategia más general que consiste en discutir las ideas de otros, como un modo indirecto de explicitar y poner en discusión las ideas del estudiantado. En este sentido, podemos recurrir también al análisis crítico de algunas ideas muy difundidas en la cultura popular actual como, por ejemplo, aquellas asociadas a versiones no técnicas de la hipótesis de Gaia, o aquellas relacionadas con el supuesto de que lo que determina la evolución es “la perpetuación de la especie”. En todos estos casos la beneficiaria de las adaptaciones y funciones es una entidad supraindividual.

Es necesario advertir que estas actividades se basan en provocar la explicitación de las intuiciones teleológico-funcionales de las y los estudiantes, es decir, la tendencia a pensar que “en la naturaleza todo exista para algo”. Nos permitimos sugerir esta línea de trabajo porque, como dijimos en secciones previas, entendemos que la propia Biología conserva ese tipo de razonamiento, aunque con algunas variaciones de cierto grado y sentido. Hemos argumentado que esa consideración epistemológica, junto con otras de índole psicológica, fundamentan la propuesta de acuerdo con la cual no se trata de pretender eliminar los razonamientos teleológicos, sino más bien de favorecer su regulación metacognitiva (González Galli et al., 2020). En ese sentido, todas las

actividades propuestas facilitan la explicitación y discusión de esas intuiciones teleológico-funcionales, algo que es una condición necesaria para la regulación metacognitiva. En clase, la discusión sobre estos tópicos podría complejizarse mucho más allá de lo que estas actividades sugieren. Por ejemplo, se podría discutir que ciertos rasgos podrían no ser adaptativos (por ejemplo, por ser producto de la deriva genética) y que, de acuerdo con la teoría, en esos casos no cabrían los razonamientos ni la terminología teleológico-funcional.

7. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Desde hace muchos años se reconoce la importancia de las metaciencias en general, y de la HC en particular, para la enseñanza de las Ciencias Naturales. Aunque la biología evolutiva es la principal área de la Biología implicada en nuestra propuesta, la misma puede dar lugar a actividades relacionadas con todas las demás áreas de la Biología, ya que en todas se llevan a cabo análisis funcionales. La propuesta implica un modo de recuperar la analogía entre la HC y el aprendizaje de las y los estudiantes, acudiendo a los modos mediante los cuales Darwin abordó la biología funcional de su época, y las formas en que las y los estudiantes entienden la atribución de funciones. Tomamos esta analogía en un doble sentido. En primer lugar, postulamos una analogía específica entre los naturalistas predarwinianos y los estudiantes actuales. En este caso no sugerimos que haya una convergencia general entre sistemas conceptuales sino una similitud específica y acotada: ambos razonan basándose en una “teleología promiscua”. En segundo lugar, nos “inspiramos” en la secuencia histórica del cambio teórico promovido por Darwin (primero reformuló la biología funcional para establecer una base empírica específica e intencional, luego defendió su biología evolucionista apelando a la biología funcional reformulada) para sugerir posibles modos de trabajo en las aulas.

En este sentido, esta propuesta se constituye en una alternativa en cuanto al modo de recurrir a la HC para repensar algunos aspectos de la enseñanza de la Biología, y que tiene virtudes que la hacen interesante para diseñar y evaluar en las aulas actividades basadas en los principios aquí expuestos. Principalmente contribuye a la enseñanza de una de las principales teorías de la Biología (TSN) por, al menos, dos razones: fomenta la identificación y caracterización de uno de los principales fenómenos del que dicho modelo da cuenta, y constituye un modo de poner en discusión algunas de las concepciones erróneas más difundidas en relación con este tema (aquellas según las cuales la selección favorecerá cualquier rasgo que sea ventajoso sin importar para qué o quién).

Además, la propuesta tiene otras virtudes potenciales: (1) ofrece un modo original de favorecer la explicitación y desestabilización de las concepciones intuitivas del estudiantado sobre la función biológica (un tema rara vez mencionado en la literatura sobre didáctica de la Biología), (2) supone un modo novedoso de relacionar las dos grandes áreas de la Biología (la funcional y la evolutiva), lo que contribuye a integrar diversos temas del currículo de Biología y a realizar el objetivo de una enseñanza de la Biología vertebrada por un eje evolutivo, (3) permite enseñar algunas particularidades epistemológicas y metodológicas específicas de la Biología (por ejemplo, acerca de los criterios y procedimientos con los cuales se evalúan hipótesis funcionales). En relación

con (2), nuestra propuesta implica relacionar los análisis funcionales (en cualquier área de la Biología) con la TSN, esto potencia el aprendizaje tanto en la biología evolutiva como en la funcional. Más específicamente, esto supone la identificación recurrente de modelos teóricos explicativos que son parte de la TSN a través de todo el currículo de Biología, lo que favorece el aprendizaje de dicha teoría debido a su sucesiva reconstrucción a través de su uso, algo que puede asociarse al llamado “aprendizaje en espiral”. En relación con (2) y con (3), no solo las y los estudiantes pueden aprender sobre los modos idiosincráticos en que se ponen a prueba las hipótesis funcionales en Biología, sino que, además, este tipo de análisis puede servir de marco para la introducción de la distinción entre causas próximas y causas últimas.

Por supuesto, para evaluar las fortalezas y debilidades de lo que aquí proponemos, será necesario llevar a las aulas actividades basadas en esta perspectiva. Esperamos, en el futuro, avanzar en esa dirección. En cualquier caso, creemos que las bases teóricas y metodológicas expuestas aquí puedan servir para que se elaboren y pongan a prueba estrategias innovadoras para enseñar Biología.

NOTAS

¹ La versión fuerte del cambio conceptual se centra en la idea de cambios radicales de conceptos intuitivos de los estudiantes por conceptos científicamente aceptados, mediante procesos educativos centrados en dichos cambios (Posner et al., 1982).

² Para profundizar sobre las posteriores discusiones en relación con el modelo de cambio conceptual ver Schnotz, Vosniadou y Carretero (2006) y Vosniadou (2008).

³ Darwin también consideraba genuinas las explicaciones que apelaban a la selección de grupos. En este trabajo no nos ocuparemos de este punto. Consideramos que la perspectiva centrada en el individuo es la menos problemática y la más aceptada (comparada con aquellas que se centran en los genes o en los grupos) y que didácticamente conviene, inicialmente, adoptar dicho criterio.

BIBLIOGRAFÍA

- Adúriz-Bravo, A. y Ariza, Y. (2012). Importancia de la filosofía y la historia de la ciencia en la enseñanza y en el aprendizaje de las ciencias. En Z. Monroy Nasr, R. León Sánchez y G. Díaz de León (Eds.), *Enseñanza de la ciencia* (pp. 78-92). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Alters, B. y Nelson, C. (2002). Perspective: teaching evolution in higher education. *Evolution: international journal of organic evolution*, 56(10), 1.891-1.901. <https://doi.org/10.1111/j.0014-3820.2002.tb00115.x>
- Álvarez-Lires, M. (2014). ¿Qué historia de la ciencia enseñar? Orientaciones para la formación docente. En M. Quintanilla, S. Daza y H. Cabrera (Eds.), *Historia y Filosofía de la Ciencia. Aportes para una nueva clase de ciencias, promotora de ciudadanía y valores* (pp. 52-65). Editorial Bellaterra.
- Ariza, Y. (2016). De la psicología genética a la epistemología genética: una discusión desde la didáctica de las ciencias. *Perspectivas*, 1(2), 1-17.
- Ariza, Y., Lorenzano, P. y Adúriz-Bravo, A. (2020). Bases modeloteóricas para la ciencia escolar: la noción de “comparabilidad empírica”. *Estudios Pedagógicos*, 46(2), 447-469. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07052020000200447>

- Astolfi, J. y Peterfalvi, B. (2001). Estrategias para trabajar los obstáculos: dispositivos y resortes. En A. Camilloni (Ed.). *Los obstáculos epistemológicos en la enseñanza* (pp. 191-223). Gedisa.
- Bishop, B. y Anderson, C. (1990). Student conceptions of natural selection and its role in evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, 27, 415-427.
<https://doi.org/10.1002/tea.3660270503>
- Caponi, G. (2010). Análisis funcionales y explicaciones seleccionales en biología. Una crítica de la concepción etiológica del concepto de función. *Ideas y Valores*, 59(143), 51-72.
- Caponi, G. (2011). *La segunda agenda darwiniana. Contribución preliminar a una historia del programa adaptacionista*. Centro de estudios filosóficos, políticos y sociales Vicente Lombardo Toledano.
- Carey, S. (1985). *Conceptual Change in Childhood*. The MIT Press.
- Darwin, C. (1909). Essay of 1842. En F. Darwin (Ed.), *The Foundations of The Origin of Species. Two Essays Written in 1842 and 1844* (pp. 1-53). Cambridge University Press.
- Darwin, C. (2009). *El origen de las especies por medio de la selección natural*. Alianza (Orig. 1859).
- De Vecchi, G. y Giordan, A. (2006). *Guía práctica para la enseñanza científica*. Díada.
- Driver, R., Guesne, E. y Tiberghien, A. (1992). *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Morata (2º ed.).
- Fernández, I., Gil, D., Carrascosa, J., Cachapuz, A. y Praia, J. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 20(3), 477- 488.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3962>
- Gauld, C. (1991). History of science, individual development and science teaching. *Research in Science Education*, 21, 133-140. <https://doi.org/10.1007/BF02360466>
- Geraedts, C. y Boersma, K. (2006). Reinventing natural selection. *International Journal of Science Education*, 28(8), 843-870. <https://doi.org/10.1080/09500690500404722>
- Ginnobili, S. (2014). La inconmensurabilidad empírica entre la teoría de la selección natural darwiniana y el diseño inteligente de la teología natural. *Theoria*, 29(3), 375-394. <https://doi.org/10.1387/theoria.9943>
- Ginnobili, S., González Galli, L. y Ariza, Y. (2022). Do what Darwin did. How to deal with teleological misconceptions in the classroom. *Science & Education*, 31, 597-617. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00186-8>
- González Galli, L. y Meinardi, E. (2011). The role of teleological thinking in learning the Darwinian model of evolution. *Evolution: Education and Outreach*, 4, 145-152. <https://doi.org/10.1007/s12052-010-0272-7>
- González Galli, L. y Meinardi, E. (2015). Una investigación sobre los obstáculos para el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural en estudiantes de escuela secundaria de Argentina. *Ciência & Educação*. 21(1), 101-122. <https://doi.org/10.1590/1516-731320150010007>
- González Galli, L. y Menardi, E. (2017). Obstáculos para el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural en estudiante universitarios de biología. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(3), 535-549. <http://dx.doi.org/10.1590/1516-731320150010007>
- González Galli, L., Pérez, G. y Gómez Galindo, A. (2020). The self-regulation of teleological thinking in natural selection learning. *Evolution Education & Outreach*, 13(6). <https://doi.org/10.1186/s12052-020-00120-0>
- Griffith, J. y Brem, S. (2004). Teaching Evolutionary Biology: Pressures, Stress, and Coping. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(8), 791-809. <https://doi.org/10.1002/tea.20027>
- Harris, P. (2002). Cómo piensan los niños y los científicos: falsas analogías y semejanzas olvidadas. En L. Hirschfeld y S. Gelman (Eds.), *Cartografía de la mente. La especificidad*

- de dominio en la cognición y la cultura. Volumen II. 'Teorías' infantiles, estudios interculturales y consecuencias educativas* (pp. 64-93). Gedisa (Orig. 1994).
- Izquierdo-Aymerich, M. (2004). Un nuevo enfoque de la enseñanza de la química: contextualizar y modelizar. *The Journal of the Argentine Chemical Society*, 92(4/6), 115-136.
- Jiménez Aleixandre, M. (1992). Thinking about theories or thinking with theories?: a classroom study with natural selection. *International Journal of Science Education*, 14(1), 51-61. <https://doi.org/10.1080/0950069920140106>
- Johsua, S. y Dupin, J. (2005). *Introducción a la Didáctica de las Ciencias y la Matemática*. Ediciones Colihue (Orig. 1993).
- Kampourakis, K. y Nehm, R. (2014). History and Philosophy of Science and the Teaching of Evolution: Students' Conceptions and Explanations. En M. Matthews (Ed.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (pp. 377-399). Springer.
- Kampourakis, K. y Zogza, V. (2007). Students' preconceptions about evolution: How accurate is the characterization as "Lamarckian" when considering the history of evolutionary thought? *Science & Education*, 16(3-5), 393-422. <https://doi.org/10.1007/s11191-006-9019-9>
- Keil, F. (2002). El nacimiento y enriquecimiento de conceptos por dominios: el origen de los conceptos de seres vivientes. En L. Hirschfeld L. y S. Gelman (Comp.), *Cartografía de la mente. La especificidad de dominio en la cognición y en la cultura. Vol. I. Orígenes, procesos y conceptos* (pp. 329-357). Gedisa (Orig. 1994).
- Kelemen, D. (1999). Function, goals and intention: children's teleological reasoning about objects. *Trends in Cognitive Sciences*, 3(12), pp. 461-468. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(99\)01402-3](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(99)01402-3)
- Kelemen, D. (2012). Teleological minds. How natural intuitions about agency and purpose influence learning about evolution. En K. Rosengren, S. Brem, M. Evans y G. Sinatra (Eds.), *Evolution challenges. Integrating research and practice in teaching and learning about evolution* (pp. 66-92). Springer. [10.1093/acprof:oso/9780199730421.001.0001](https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199730421.001.0001)
- Kelemen, D., Rottman, J. y Seston, R. (2013). Professional Physical Scientists Display Tenacious Teleological Tendencies: Purpose-Based Reasoning as a Cognitive Default. *Journal of Experimental Psychology: General*. 142(4), 1.074-1.083. <https://doi.org/10.1037/a0030399>
- Kuhn, T. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago University Press.
- Marín Martínez, N. (1997). *Fundamentos de didáctica de las ciencias experimentales*. Universidad de Almería.
- Matthews, M. (1994). *Science teaching: The role of history and philosophy of science*. Routledge.
- Matthews, M. (2017). *La enseñanza de la ciencia. Un enfoque desde la historia y la filosofía de la ciencia*. Fondo de Cultura Económica (Orig. 1994).
- Paley, W. (1809). *Natural Theology* (12th ed.). J. Faulder.
- Piaget, J. y García, R. (1980). *Psicogénesis e Historia de la Ciencia*. Siglo XXI.
- Posner, G., Strike, K., Hewson, P. y Gertzog, A. (1982). Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change. *Science Education*, 66(2), 211-277. <https://doi.org/10.1002/sce.3730660207>
- 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. *Cognition*, 211. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2021.104635>
- Ruse, M. (2000). Teleology: Yesterday, today, and tomorrow? *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, 31(1), 213-232. [https://doi.org/10.1016/S1369-8486\(99\)00046-1](https://doi.org/10.1016/S1369-8486(99)00046-1)
- Schnotz, W., Vosniadou, S. y Carretero, M. (2006). *Cambio conceptual y educación*. Aique.
- Settlage, J. (1994). Conceptions of Natural Selection: A Snapshot of the Sense-Making Process. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(5), 449-457. <https://doi.org/10.1002/tea.3660310503>

- Smith, M. (2010a). Current status of research in teaching and learning evolution. I. philosophical/epistemological issues. *Science & Education*, 19(4-8), 523-538. <https://doi.org/10.1007/s11191-009-9215-5>
- Smith, M. (2010b). Current status of research in teaching and learning evolution: II. pedagogical issues. *Science & Education*, 19(4-8), 539-571. <https://doi.org/10.1007/s11191-009-9216-4>
- Thagard, P. (1992). *Conceptual revolutions*. Princeton University Press.
- Vázquez Ven, L. y Bugallo Rodríguez, A. (2018). El modelo de evolución biológica en el currículum de educación primaria: un análisis comparativo a nivel internacional. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(3). https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i3.3101
- Vosniadou, S. (Ed.). (2013). *International Handbook of Research on Conceptual Change*. Routledge.
- Wandersee, J. (1986). Can the history of science help science educators anticipate students' misconceptions? *Journal of Research in Science Teaching*, 23(7), 581-597. <https://doi.org/10.1002/tea.3660230703>
- Wandersee, J. y Roach, L. (1998). Interactive historical vignettes. En J. Mintzes (Ed.), *Teaching Science for Understanding. A Human Constructivist View* (pp. 281-307). Elsevier Academic Press.
- Wellman, H. (1990). *The Child's Theory of Mind*. MIT Press.