

Obstáculos epistemológicos y ontológicos en la comprensión del concepto darwinista de adaptación: implicaciones en la enseñanza de evolución

Claudia Sepúlveda¹
Charbel Niño El-Hani²

El papel central del pensamiento evolutivo en la estructura de las ciencias biológicas, y su relevancia para la enseñanza de la biología, ha llevado, desde la década de 1970, a la producción de trabajos de investigación que indaguen sobre los posibles aspectos que enmarcan el aprendizaje de la teoría de la evolución por selección natural, en alumnos de diferentes grados de escolaridad (Deadman, 1976; Deadman y Kelly, 1978; Brumby, 1983; Clough y Wood-Robinson, 1985; Bishop y Anderson, 1990; Bizzo, 1994; Desmastes, Settlage y Good, 1995; Ayuso y Banet, 1997; Ferrari y Chi, 1998; Santos, 2002).

En este capítulo se presentaran algunos resultados parciales sobre el análisis de las ideas de estudiantes brasileños de los niveles de enseñanza media y superior, en torno al concepto de adaptación y su relación con la teoría de la selección natural. Estos resultados fueron recolectados en el contexto de un proyecto que busca investigar la evolución de estas ideas en el espacio social del aula, a partir de una perspectiva socio-interracionista del aprendizaje, la cual se constituye en alternativa al modelo de cambio conceptual de Posner y colaboradores, y se define como *modelo de perfil conceptual*.

El modelo de perfil conceptual, desarrollado por el investigador brasileño Eduardo Fleury Mortimer para analizar la evolución conceptual en el aula, se fundamenta en la idea de que coexisten, para cada individuo, diferentes formas de pensar un mismo concepto, y que componen un perfil conceptual. Las zonas que lo estructuran contemplan aspectos epistemológicos y ontológicos propios de las diferentes formas de comprenderse la realidad (Mortimer, 1994; 1995; 2000). Este modelo difiere del modelo de cambio conceptual de Posner y colaboradores (1982) en la medida en que propone

1 Departamento de Educação, Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS). Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências (UFBA/UEFS). Grupo de Pesquisa em História, Filosofia e Ensino de Ciências Biológicas (IB-UFBA).

2 Departamento de Biologia Geral, Instituto de Biologia, Universidade Federal da Bahia (UFBA). Grupo de Pesquisa em História, Filosofia e Ensino de Ciências Biológicas (IB-UFBA). Docente dos Programas de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências (UFBA/UEFS) e Ecologia e Biomonitoramento (UFBA).

que la construcción de nuevos conceptos no presupone el abandono de las concepciones previas, pero sí la delimitación de los contextos en que ellas son aplicables. Así, el proceso de enseñanza y aprendizaje de ciencias es concebido en términos de dos procesos: (1) la evolución de un perfil conceptual, a través de la construcción de nuevas zonas; y (2) la toma de conciencia por los alumnos de su propio perfil y del dominio en que cada zona es aplicable (Mortimer, 2000).

Para que el primer proceso ocurra, uno de los papeles fundamentales del profesor es identificar los obstáculos ontológicos y epistemológicos en la comprensión del concepto científico a ser enseñado³, luego explicitar la existencia de tales obstáculos y discutir con los alumnos las dificultades encontradas en su superación. De este modo, el profesor podrá ayudar a sus alumnos a superar estos obstáculos (Mortimer, 2000, p. 143), que corresponden a: (1) ideas sobre el carácter de entidades, eventos y procesos naturales que contradicen las características de los conceptos, de las teorías y de los modelos científicos, de modo que los torna en contra-intuitivos; y (2) concepciones sobre el modo como tales entidades, eventos y procesos pueden ser conocidos y que no están de acuerdo con las presuposiciones epistemológicas y las prácticas de construcción del conocimiento propias de la ciencia.

En este capítulo discutiremos –inicialmente– la importancia del concepto de adaptación en la enseñanza de las ciencias biológicas, a partir de un breve tratamiento de su desarrollo histórico y de los debates acerca de su papel en la investigación biológica, como consecuencia de las críticas al adaptacionismo. A continuación, caracterizaremos el concepto de adaptación que será adoptado en este trabajo para formular la comprensión del fenómeno de la adaptación evolutiva⁴ desde una perspectiva darwinista. Finalmente, discutiremos algunos obstáculos ontológicos y epistemológicos de esta visión, con base en datos empíricos recolectados a través de entrevistas y cuestionarios con estudiantes brasileños de los niveles medio y superior de enseñanza, de una revisión de la literatura sobre concepciones alternativas, y de los referenciales derivados de la historia y filosofía de la ciencia.

3 Como el perfil conceptual de un concepto comporta no solamente zonas referentes a las diferentes perspectivas de concebir la realidad que son propias del conocimiento cotidiano, sino también puede incluir más de una perspectiva científica, es preciso explicitar cuál zona del perfil se pretende construir en un determinado proceso de enseñanza. Aquí defendemos como uno de los objetivos para los niveles fundamental y medio, la enseñanza del concepto de adaptación en una perspectiva darwinista, caracterizada en la próxima sección.

4 El uso de la cualificación ‘evolutiva’ después del término ‘adaptación’ puede causar extrañeza. Es pertinente, así, justificarlo. Él es necesario en un tratamiento preciso del concepto de adaptación, en vista de que este término también es usado en la literatura para designar el fenómeno de adaptación fisiológica o ajuste fenotípico, de naturaleza diferente de la adaptación evolutiva (Bock; Wahlert, 1998).

El concepto de adaptación precede al darwinismo. El fenómeno de la adaptación era el enfoque central de la teología natural del siglo XVII, en cuyo contexto la interpretación de dicho fenómeno permitía sostener el argumento de diseño o planificación. De acuerdo con este, cada organismo habría sido meticulosamente proyectado para un papel definido en la economía de la naturaleza, por la acción creadora e inteligente de Dios, de modo que cada una de sus estructuras se encontraría perfectamente ajustada a su función. Ese argumento se encuentra, por ejemplo, en la obra *Natural Theology* de William Paley (1802).

Como analiza Amundson (1996), después de las leyes de Newton y la hipótesis nebular de Laplace, que hayan ofrecido explicaciones naturalistas basadas en causas eficientes para el comportamiento de los cuerpos celestes, el único dato empírico a favor de la existencia de un propósito o de causas finales en la naturaleza que es de destacar, al final del siglo XVIII, consistía en la adaptación biológica. Esto hizo que las ideas de propósito, plan y adaptación fueran ampliamente utilizadas en el contexto de una teleología cósmica (Mayr, 1982, 1988) para explicar fenómenos biológicos.

En este contexto, uno de los grandes desafíos de Darwin fue argumentar que la teoría de la selección natural podría explicar de manera convincente, así como desde una perspectiva naturalista, no solamente la diversidad de organismos, sino que también “el mismo conjunto de hechos usados por Paley como evidencia de la creación divina”, o sea, el origen de la complejidad adaptativa (Smith, 1969, p. 82). En el *Origen de las Especies*, las adaptaciones fueron tratadas como el aspecto más importante del mundo orgánico y la selección natural, se destacaba como el principal factor causal (pero no único) para el cambio evolutivo, asumiendo entonces esto como una fuerza adaptativa (Amundson, 1999, p. 28).

A partir de la década de 1870, la idea de evolución por descendencia común, se hizo popular entre los científicos y aún entre el público en general, gozando de gran aceptación. No se puede decir lo mismo en relación a la teoría de la selección natural. A finales del siglo XIX, para muchos científicos quedaban dudas en torno al papel de la selección natural en los cambios evolutivos, relacionadas, en gran parte, con la ausencia de modelos consistentes sobre los mecanismos de la herencia que pudieran explicar el origen de la variación continua entre los individuos de una población, bajo el cual el proceso de selección natural ocurriría. Alrededor de 1900, mecanismos alternativos a la selección natural gozaban de prestigio cada vez mayor (Meyer y El-hani, 2005, p. 45), comprometiendo hasta tal punto

la aceptación de la teoría darwinista, que ese periodo fue llamado por el historiador Peter Bowler, “eclipse del darwinismo” (Bowler, 2003, p. 224).

Desde la década de 1940, como consecuencia de la síntesis evolutiva⁵, se volvió dominante entre los biólogos evolutivos la idea de que las adaptaciones son el resultado de la selección natural (Mayr, 1988, p. 133), siendo posicionando el fenómeno de la adaptación como el centro de la biología evolutiva moderna (Amundson, 1996, p. 11). Esa tendencia fue tan vigorosa que muchos biólogos evolutivos del siglo XX dirigieron sus trabajos hacia la búsqueda del significado funcional y al valor adaptativo en una variedad de rasgos biológicos conspicuos, que hasta entonces no habían sido explicados convincentemente (Amundson, 1996, p. 11; Mayr, 1988, pp. 129-130). Para explicar estos rasgos, se propusieron historias adaptativas. Gould y Lewontin (1978) denominaron a esta forma de abordar la biología evolutiva como “programa adaptacionista”.

A finales de la década de 1960, varias críticas comenzaron a ser formuladas en torno a la visión adaptacionista que sostenía que la selección natural sería suficiente para explicar todos los caracteres como utilidad corriente que observamos en los organismos. Estas críticas se estructuraron desde los siguientes hechos y abordajes, los cuales expusieron los límites de la selección natural para la explicación de la organización estructural de las formas orgánicas: (1) descubrimientos acerca del papel del azar en los cambios evolutivos; (2) reconocimiento de que el proceso de selección natural no lleva necesariamente a la producción de adaptaciones; (3) la existencia de características que hoy aumentan la aptitud adaptativa, pero cuyo origen no puede ser atribuido a la acción directa de la selección natural; (4) énfasis en el papel de las restricciones estructurales y del desarrollo en la evolución

5 La síntesis evolutiva consistió en un movimiento de fusión del mendelismo con el darwinismo. Entre las décadas de 1920 y 1940, contribuciones de la genética, sistemática y paleontología fueron amoldadas en una nueva teoría, la teoría sintética de la evolución (Futuyma, 1993, p. 10). La síntesis evolutiva emergió a partir del desarrollo de la genética de poblaciones, principalmente a través del trabajo de tres investigadores, Fischer, Haldane y Wright, que demostraron que “la variación estudiada por los evolucionistas podría ser explicada por la herencia mendeliana y por la selección natural” (Meyer y El-Hani, 2005, p. 49), así como por el trabajo de naturalistas de campo, que mostraron cómo una serie de fenómenos naturales podrían ser apropiadamente explicados con base en la selección natural. Tuvo un papel fundamental en la construcción de la teoría sintética la presentación de los elementos teóricos de la genética de poblaciones y de los datos sobre variación genética de manera sistemática y accesible a todos los biólogos por Dobzhansky (1937).

Algunos de los principios fundamentales de la síntesis evolutiva, conforme como fueron identificados por Futuyma, son los siguientes: (1) las poblaciones evolucionan por cambios en las frecuencias génicas resultantes de la deriva genética, del flujo génico, y especialmente, de la selección natural; (2) la mayor parte de las variantes genéticas adaptativas presentan pequeños efectos fenotípicos individuales, de tal modo que los cambios fenotípicos son graduales (Futuyma, 1993, p. 13).

de la forma orgánica; y (5) énfasis en la historia filogenética de los rasgos complejos.

Dentro de los ataques que ha enfrentado el adaptacionismo, aquel realizado por los evolucionistas Stephen Jay Gould y Richard Lewontin (1978) es usualmente considerado como el más feroz (Rose; Lauder, 1996; Meyer; El-Hani, 2005). La crítica de estos autores se organiza en torno a tres aspectos: (1) la incapacidad del programa adaptacionista de distinguir entre utilidad corriente y adaptación; (2) el hecho de que el programa abandona otros tipos de explicaciones biológicas a favor de las explicaciones adaptativas; y (3) el hecho de que el programa es infalsificable.

Con respecto al primer aspecto, los autores consideran que se hace necesario tener en cuenta las evidencias de que no toda característica funcional es una adaptación, pudiendo muchas de ellas ser consideradas sub-productos de la selección natural o como resultado del “reaprovechamiento” de dichas características en el proceso evolutivo. Por ejemplo, la hipótesis más aceptada actualmente para el origen de las plumas de las aves, es que ellas habrían aparecido para ejercer la función de aislante térmico, y después, habrían sido “aprovechadas” como auxiliares para el vuelo (Meyer y El-Hani, 2005, p. 72-73).

En contraposición al presupuesto adaptacionista, según el cual la existencia de todos los caracteres observados en el mundo vivo pueden ser explicados por la selección natural, Gould y Lewontin (1978) argumentan a favor de la importancia de contemplar otras posibles alternativas al razonamiento adaptacionista, por ejemplo, considerándose el papel que las restricciones históricas y del desarrollo pueden ejercer en la explicación de la permanencia de algunos rasgos, especialmente en el caso de aquellos conservados en grandes grupos de organismos filogenéticamente relacionados.

Otro problema metodológico de los análisis adaptacionistas anotado por Gould y Lewontin (1978) consiste en concebir los organismos como un mosaico de partes separadas, cada una de ellas con una explicación evolutiva independiente de su existencia. Los autores hacen hincapié en dos aspectos: la imposibilidad de definir con seguridad cuál parte del organismo debe ser tomada como un rasgo adaptativo que requiere una determinada historia evolutiva propia; y la imposibilidad de que una optimización de cualquier parte de un organismo no demande cambios en otras.

Gould y Lewontin (1978) argumentan que aunque las narrativas presentadas por el programa adaptacionista acerca del por qué un trazo fue seleccionado en el pasado evolutivo, a pesar de ser útiles para contraponer la idea común, según la cual la existencia de ciertos trazos conspicuos niega

la teoría de la selección natural, no constituye una explicación científica verificable, solo se trata de una indicación de cómo un trazo podría haber evolucionado.

Estas y otras consideraciones en relación a las imprecisiones empíricas y a los problemas metodológicos y epistemológicos del programa adaptacionista llevaron a algunos autores a preguntarse por la pertinencia del concepto de adaptación para la comprensión del darwinismo y de su papel en la organización de la investigación en biología (Krimbas, 1984; Levins; Lewontin, 1985; Godfrey-Smith, 1999).

Levins y Lewontin (1985, p. 76) argumentan que el concepto de adaptación, del modo como es utilizado por los adaptacionistas, se ha transformado “en un postulado metafísico, el cual no solo no puede ser refutado, ni confirmado, como debe ser necesariamente, por todas las observaciones”. Este modo de usar dicho concepto puede hacer que las teorías darwinistas acerca de la evolución no sean probables (Levins y Lewontin, 1985).

Godfrey-Smith (1999), con el fin de definir objetivamente sobre cuáles deberían ser las características de los organismos vivos, consideradas como fundamentales y merecedoras de un análisis adaptacionista, argumenta que conforme a lo postulado por el adaptacionismo no hay como justificar la prioridad dada al “problema del diseño”⁶ en la investigación biológica. De este modo, la solución dada a esta cuestión a través del concepto darwinista de adaptación no presenta, en su visión, relevancia práctica para el trabajo de los biólogos por el papel que desempeñó en nuestra historia intelectual, generando y enfocando el interés exclusivamente a los filósofos.

Otros autores como Rose y Lauder (1996, p. 4), criticaron la actitud común entre los biólogos de las décadas de 1980 y 1990 por no confrontar el problema de la adaptación, utilizando el argumento de que se trataba de un “fenómeno biológico manifiestamente real”. Estos autores sugieren que la cuestión debe enfrentarse examinando si después de las críticas hechas al adaptacionismo, queda aún algo que el concepto de adaptación pueda informar a la investigación evolutiva.

El papel heurístico desempeñado por presupuestos adaptacionistas –tales como “¿cuál es la función que determinada estructura u órgano desempeña?”, “¿cómo la selección natural explica la existencia de determinada

6 Godfrey-Smith (1999) está refiriéndose a la cuestión del aparente ajuste de la organización estructural biológica a una función hipotética, considerada por él como una construcción, esto es, como problema de investigación de la teología natural del siglo XVII, que continúa, sin embargo, siendo entendida por el adaptacionismo explicativo como la principal misión intelectual de la teoría evolutiva.

característica u órgano?” – a lo largo de la historia de la ciencia, así como el papel que continúan desempeñando actualmente en la biología evolutiva y en varios campos de la biología, como la fisiología o la anatomía, ha sido reconocido por biólogos, filósofos de la biología y educadores (Mayr, 1988; Meyer; El-Hani, 2005). Hecho este reconocimiento de la generalización y persistencia de concepciones erróneas sobre el concepto de adaptación, en gran parte relacionadas con la connotación teleológica asumida antes de la teoría de la selección natural, Mayr (1988, p. 119) defiende la necesidad de reconsiderar el concepto de adaptación para que podamos refutar concepciones alternativas al darwinismo. Él destaca, sin embargo, que algunos filósofos y biólogos ya vienen emprendiendo esfuerzos en este sentido, destacando el trabajo de Sober (1993).

Nuestra defensa respecto a la importancia del concepto darwinista de adaptación en la enseñanza de las ciencias biológicas se ampara en dos argumentos con relación a los objetivos de la enseñanza de ciencias: (1) la defensa de un abordaje contextual de la enseñanza de ciencias, según la cual, la educación científica debe no solo enseñar contenidos científicos, sino que también debe inclinarse hacia la comprensión de la naturaleza de las ciencias (Matthews, 1994); y (2) la propuesta según la cual la comprensión de los conceptos, de las teorías y de los modelos científicos –y no las creencias en tales constructos– son el objetivo propio de la enseñanza de ciencias (Smith *et al.*, 1995; Cobern 1996, 2000; El-Hani; Bizzo, 2002; Smith; Siegel, 2004).

Según Freire Jr. (2002), el primer compromiso educativo que ha sido asumido por el abordaje contextual se refiere a que la educación debe introducir a los niños, jóvenes y adultos en las mejores tradiciones de sus culturas, por lo tanto significa decir que la educación científica debe tener como objetivo promover la comprensión. No solo de los contenidos de las disciplinas científicas, de su metodología y de sus premisas, sino también de las relaciones que se establecen, y que históricamente se establecieron entre cuestiones éticas, religiosas, culturales, económicas y políticas. Este argumento del abordaje contextual ganó aún mayor relevancia, cuando se amplió e integró a la agenda de la formación de la ciudadanía (Freire Jr., 2002). La preocupación es fortalecer instrumentos conceptuales mínimos para que el ciudadano común pueda comprender el papel de la ciencia como actividad humana en las sociedades contemporáneas, sus relaciones con la tecnología y sus implicaciones sociales y económicas.

Desde esta perspectiva de abordaje contextual, la enseñanza del concepto de adaptación evolutiva es enteramente defendible, dado el reconocido mérito histórico y filosófico que presenta, por el papel fundamental que

desempeñó en la constitución de una explicación científica y naturalista de los fenómenos naturales, al refutar los argumentos teístas acerca del *design* propuestos por la teología natural del siglo XVIII (Dawkins, 1986; Mayr, 1988; Sterelny; Griffiths, 1999). Así, cuando tratemos el concepto de adaptación, a partir del abordaje contextual de la enseñanza de las ciencias, estaremos contribuyendo en el perfeccionamiento de las ideas de los estudiantes sobre la naturaleza de la ciencia, dada la oportunidad de discutir en torno a las presuposiciones metafísicas y epistemológicas del discurso científico y su relación con los procesos de construcción y validación del conocimiento científico.

La necesidad de tal abordaje en la enseñanza del concepto de evolución aún es relevante, una vez que la controversia entre el argumento de la planificación divina y la explicación darwinista de las adaptaciones persiste hasta hoy, como consecuencia del creciente movimiento creacionista, argumento que figura entre uno de los principales factores que contribuyen al rechazo del estatuto científico y del poder explicativo de la selección natural (Smith *et. al.*, 1995). Este debate ha sido mal comprendido por la opinión pública, que en gran medida lo interpreta como una disputa en torno a una verdad absoluta, sin darse cuenta de que están en juego cuestiones relativas a la diversidad de formas de conocimiento que la humanidad ha desarrollado para conocer la realidad, fundamentados en diferentes presuposiciones acerca del universo y de cómo podemos conocerlo.

Además de su importancia para la formación intelectual y cultural del ciudadano, el concepto de adaptación como resultado de la selección natural tiene el poder de explicar fenómenos de evolución adaptativa de gran importancia para la humanidad, como la resistencia bacteriana a los antibióticos y de plagas agrícolas a insecticidas, o aún, las dificultades encontradas en el control de pandemias como el SIDA (ver Meyer; El-Hani, 2005). La comprensión de estos fenómenos a través del pensamiento evolutivo puede auxiliar a los ciudadanos para que tomen decisiones y adopten medidas personales adecuadas frente a estos desafíos, o, aún, que intervengan en políticas públicas, por ejemplo de salud, que podrán tener consecuencias directas para nuestra calidad de vida.

Aunque el pensamiento evolutivo no se restringe al darwinismo, ni este, por su parte, a la teoría de la selección natural, y aún con miras a las críticas a una visión estrictamente adaptacionista de la naturaleza, nosotros creemos que pocos biólogos y educadores dejarían de considerar la comprensión de la teoría de la selección natural como uno de los objetivos a ser alcanzados por la enseñanza de la biología.

Smith y Siegel (2004), al defender que el objetivo de la enseñanza de las ciencias debe ser el de promover la comprensión apropiada de los conceptos, de las teorías y de los modelos científicos, proponen cuatro criterios para la comprensión: conectividad, atribución de significado, aplicación y justificación. De acuerdo con estos criterios, la comprensión de una teoría científica implica que el alumno pueda: (1) identificar y relacionar los conceptos implícitos, de modo que pueda (2) atribuir significado a estos conceptos, con base en las interconexiones que establezca entre ellos; (3) ser capaz de aplicar la teoría en una variedad de situaciones, tanto académicas como no académicas; y (4) apreciar algunas de las razones que la justifican y la hacen la mejor explicación científica para un determinado fenómeno, con base en su consistencia empírica (y debe agregarse también, con base en su consistencia teórica, o sea, en la naturaleza de sus relaciones con otras teorías científicas ampliamente aceptadas en un determinado momento histórico).

Así, cuando argumentemos sobre el papel que el concepto de adaptación desempeña en la enseñanza del concepto de evolución, es importante que analicemos la relación entre este y la teoría de la selección natural. Frente a este aspecto, Levins y Lewontin (1985) argumentan que no hay referencia a la adaptación en los tres principios que consideran necesarios y suficientes para la evolución por selección natural: (1) el principio de la variación –hay variación en caracteres morfológicos, fisiológicos y comportamentales entre los miembros de una especie–; (2) el principio de la herencia –la variación es en parte hereditaria, de modo que la descendencia se asemeja a sus padres–; y (3) el principio de la aptitud (*fitness*) diferencial –variedades diferentes dejan un número diferente de hijos (crías), tanto en las generaciones inmediatas, como en las generaciones más remotas–.

De hecho, los principios anotados por Levins y Lewontin (1985) están de acuerdo con las observaciones e inferencias que estructuran la lógica de la teoría de la selección natural en la concepción de otros autores, como Mayr (1982), Ferrari y Chi (1998) y Meyer y El-Hani (2002).

Si aceptáramos el análisis de Levins y Lewontin (1985), podremos concluir que el abordaje del concepto de adaptación no es necesario para satisfacer los criterios de conectividad y atribución de sentido, considerados por Smith y Siegel (2004) como imprescindibles para la comprensión de una teoría científica, como lo es en este caso, la teoría de la selección natural. Sin embargo, por lo expuesto anteriormente, consideramos que la discusión en torno al concepto darwinista de adaptación en la enseñanza de biología es fundamental para que puedan ser alcanzados los otros dos criterios propuestos por Smith y Siegel (2004), como son aplicación y justificación. Un

análisis de casos de cambios evolutivos, para los cuales las explicaciones adaptativas sean apoyadas empíricamente –como la resistencia bacteriana a antibióticos o la evolución del camuflaje de insectos, por ejemplo– podrán proporcionar a los alumnos medios para aplicar el razonamiento de la selección natural, para explicar, de manera satisfactoria, fenómenos por ellos conocidos. Esto, de cierto modo, también les dará la posibilidad de evaluar el poder explicativo de la teoría de la selección natural. Fenómenos adaptativos, como por ejemplo la resistencia bacteriana a antibióticos ya mencionada, también suministran evidencias empíricas convincentes de la acción de la selección natural. Ahora, tenemos dos aspectos considerados por la comunidad científica para la aceptación de una teoría: su poder explicativo y su consistencia empírica.

Finalmente, al proponer el abordaje del concepto darwinista de adaptación en la enseñanza de la biología, es importante presentar claramente el modo como entendemos este concepto. En este punto, seguimos a Sober en su explicación de lo que es una adaptación: *A es una adaptación para la tarea T en la población P si y solamente si A se tornó prevalente en P porque hubo selección para A, siendo que la ventaja selectiva de A se debió al hecho de A haber ayudado en el desempeño de la tarea T* (Sober, 1993, p. 208).

Es así que se considera que esta forma de tratar el concepto de adaptación no incurre en la equivocación de la concepción adaptacionista de supervalorizar el poder causal y explicativo de la selección natural, al mismo tiempo que conserva el contenido explicativo del concepto darwinista o explica el origen histórico y la permanencia de características correctas –no de todas– en las poblaciones de organismos vivos a partir de una perspectiva naturalista.

Obstáculos epistemológicos y ontológicos en la comprensión del concepto darwinista de adaptación

Datos empíricos, obtenidos a partir de las entrevistas realizadas a estudiantes brasileños correspondiente al nivel de básica secundaria y de los cuestionarios desarrollados por estudiantes que recién ingresan y aquellos en formación del curso de Licenciatura en Ciencias Biológicas de la Universidad Provincial de Feira de Santana (UEFS), fueron analizados a través de un diálogo con los resultados encontrados en la literatura sobre concepciones espontáneas acerca del concepto de evolución y referenciados en la historia y filosofía de la ciencia. De esta forma, fue posible reconocer compromisos epistemológicos y ontológicos sustentados por las interpretaciones de estos estudiantes, acerca del cambio evolutivo y los significados que atribuían al término “adaptación”. Analizando

dichos compromisos a la luz de la interpretación de adaptación presentada por Sober (1993), identificamos los siguientes obstáculos epistemológicos y ontológicos en la comprensión del concepto darwinista de adaptación: ausencia de explicación etiológica, finalismo, pensamiento esencialista, error categorial (confusión entre ontogenia y filogenia), supernaturalismo y reacción al discurso materialista de la ciencia y confusión semántica.

Ausencia de explicación etiológica

Encontramos entre las visiones de los estudiantes de la enseñanza superior y del nivel de educación básica secundaria, una tendencia a priorizar la descripción funcional de las características adaptativas, en lugar de explicaciones causales de naturaleza etiológica. Sin embargo, fue posible distinguir dos tipos característicos de concepciones sobre la adaptación que presentan esta tendencia, pero que están fundamentadas en compromisos epistemológicos distintos.

En un primer caso, el fenómeno de la adaptación es visto como algo dado –evidente– que obvia una propuesta que considere mecanismos causales para explicar su origen. En este caso, se explica el origen y existencia de las adaptaciones por los efectos adaptativos que ciertas estructuras o comportamientos exhiben, en relación con la capacidad del organismo para realizar sus actividades vitales. Este género de explicación fue muy común en las interpretaciones acerca del origen de la diversidad de las formas diferentes de mandíbulas y dientes entre los mamíferos. El texto que se presenta a continuación proporciona un ejemplo:

Podemos concluir que la disposición y la forma de los dientes y la forma de la mandíbula están relacionadas con el tipo de alimentación de cada individuo. Los carnívoros tienen en su boca dientes adaptados para rasgar la carne de su presa, los herbívoros para arrancar las plantas del suelo (o de los árboles), mientras los omnívoros están adaptados para las dos acciones. Así las diferentes formas encontradas en los organismos son adaptaciones conectadas con las necesidades para alimentarse (LCB2)⁷.

En el segundo caso, la génesis histórica no es considerada como un aspecto definitorio y distintivo del fenómeno de adaptación. Cualquier característica relacionada con el aumento de las oportunidades de supervivencia

7 Los códigos LCB₂ e LCB₇ hacen referencia a cuestionarios respondidos por alumnos que cursaban el segundo y el séptimo semestre del programa de Licenciatura en Ciencias Biológicas de la UEFS, y el código EM se refiere a entrevistas realizadas a estudiantes que cursaban segundo año del nivel de básica secundaria de una institución pública del municipio de Salvador-BA, Brasil.

y éxito reproductivo de los organismos que los presentan es considerada como una adaptación sin tener en cuenta su origen histórico.

Gran parte de los alumnos, del nivel universitario, a quienes se les preguntó acerca de si es posible decir que la apariencia del labelo⁸ de una especie de orquídea que se asemeja a la hembra de una especie de avispa que la poliniza es una adaptación, justificaron su respuesta de forma afirmativa, haciendo referencia al aumento en el éxito reproductivo que tal característica proporcionaba a la orquídea; lo anterior, sin hacer referencia a la selección natural o a cualquier otro mecanismo implicado en el origen y permanencia de la característica en la población. Este fue el caso de la siguiente afirmación, que ejemplifica el énfasis dado por un estudiante al aumento de la aptitud como criterio para la definición de adaptación: “Adaptación es toda característica que favorece la reproducción (...) hace que los organismos que la poseen, están más equipados, favoreciendo mayor éxito reproductivo” (LCB₂).

Finalismo

Gran parte de los alumnos explica la existencia de las adaptaciones en términos del propósito que pretenden satisfacer. Se encontraron dos tendencias en estas interpretaciones. De una parte, se puede suponer de manera explícita la intervención de un agente externo dirigiendo el proceso evolutivo, similar al de un creador inteligente, como el presentado por la teología natural del siglo XVIII. Este es el caso, por ejemplo, de la interpretación del siguiente estudiante del nivel de básica secundaria, acerca del origen de la diversidad de formas de la mandíbula y de la disposición de los dientes en diferentes grupos de mamíferos:

Tienen esta forma así, porque están en el crecimiento de ellos los dientes. Si él come estos bichos así [hábito carnívoro], por ejemplo, el gato tiene este tipo de dientes ya que están hechos para eso, viniendo de él. Así, como los del hombre y los de la oveja, tiene esta forma, porque es de ese modo los hizo por Dios mismo, para eso (EM).

Un segundo tipo de interpretación teleológica de la adaptación ocurre en forma de una teleología inmanente, semejante a aquella concebida en el pensamiento aristotélico, fundamentada en la presuposición de un mundo ordenado, de modo que todo en él se encuentra dispuesto para asegurar un propósito en dirección al mejor estado posible (Ross [un 1923] 1995). Esa

8 El “labelo” ó Labellum (lábio) es una parte de la flor de las orquídeas, plantas pertenecientes a la familia de las Orchidaceae. Es un pétalo modificado, que se distingue claramente de otros pétalos y de los sépalos por su gran tamaño y su generalmente forma irregular (Tomado de: <http://es.wikipedia.org/wiki/Labelo>).

idea es enunciada, por ejemplo, en la explicación de un estudiante del nivel de básica secundaria, cuando se refiere al origen de la diversidad de picos de los pinzones de las islas Galápagos:

Yo creo que el hecho de él ser diferente, él tenía que nacer diferente. Principalmente la diferencia del pico (...) porque es por donde él se alimenta, porque ya tiene los alimentos apropiados: las semillas. Por ejemplo, aquí él tiene que introducir el pico para quitar lo que tiene dentro. Si él naciera solo con este pico sería imposible. Entonces cada uno ya nace ajustado para un tipo de comida, con el tipo de raza, de especie (EM).

Pensamiento esencialista

Los biólogos de los siglos XVII y XVIII, partidarios o contrarios a la explicación evolucionista de la diversidad de la vida, compartían tanto un concepto tipológico de especie como un método para explicar la variabilidad en términos esencialistas. De acuerdo con Sober (1994), el esencialismo biológico debe satisfacer las siguientes proposiciones: (1) existen algunas propiedades que todos y cada uno de los miembros de una especie presentan; (2) existe una propiedad diagnóstica que cualquier organismo *posible* debe tener para ser miembro de una especie; (3) tales propiedades únicas compartidas por los miembros de una especie son implicatorias, en el sentido de que explican por qué los miembros de una determinada especie son lo que son. La esencia de la especie puede ser entendida como el mecanismo causal que actúa en cada miembro de la especie, haciéndolo el tipo de cosa que él es.

La teoría evolutiva minó tal estrategia explicativa, una vez que instituyó el cambio como regla. El gradualismo darwinista hace difícil o incluso imposibilita la demarcación entre tipos, implicando una idea de *continuum*: las especies son vistas como poblaciones de individuos con muchas diferencias genéticas, las cuales cambian de generación en generación, de modo que la frecuencia de atributos que podrían caracterizar una especie cambia con el tiempo, y un carácter que antes era recesivo puede pasar a ser dominante.

Como analiza Hull (2002, p. 119), la evolución como es descrita por el darwinismo, es un proceso en el cual características accidentales son transformadas en esenciales, y viceversa. En estos términos, no es posible caracterizar una especie del modo esencialista por una serie de características diagnósticas que los miembros de la especie poseen siempre y exclusivamente. Después de muchas generaciones, una especie puede sufrir transformaciones en su apariencia, en su comportamiento y en su constitución genética, pero aún pertenecer a la misma especie. Como argumentan Stere-

Iny y Griffiths (1999, p. 8), no se debe derivar la existencia de una esencia invariable del hecho de lograr reconocer muchas especies rápidamente. Las concepciones sobre la especie contemporánea están llegando al consenso de que estas son identificadas por sus historias (Sterelny; Griffiths, 1999).

La biología darwinista también incorporó una nueva concepción de variabilidad. Mientras en el pensamiento esencialista la variación es irrelevante, constituyéndose únicamente en “simples accidentes” o “degeneraciones” del tipo, para el darwinismo ella constituye uno de los más importantes aspectos de la vida, siendo una condición necesaria para la evolución. Esta nueva manera de entender la variación es parte fundamental del pensamiento poblacional introducido por el darwinismo. La transición del modo de pensar esencialista al modo poblacional es considerada por Mayr (1988) un paso revolucionario y fundamental para la constitución del pensamiento biológico.

La visión esencialista continuó influenciando el pensamiento de los naturalistas, aún después del *Origen de las Especies*; “en 1859, muchos autores persistían en concebir la selección natural como un proceso negativo, la eliminación del menos apto, y –por implicación– la restauración de la pureza del tipo” (Mayr, 1988, p. 99). Esta concepción del proceso de selección natural, que también está relacionada con el compromiso ontológico de concebir la adaptación como un proceso que lleva a la perfección, la observamos en alumnos de Biología del nivel de enseñanza superior:

El aspecto negativo de la selección natural es importante para la conservación de la especie siempre en su cima de la adaptación, impidiendo así, la perpetuación de cambios que disminuyan la perfección de la adaptación al hábitat de la especie. Ya el aspecto positivo es un instrumento de transformación progresiva (LCB₂).

Aunque el esencialismo haya sido sustituido en la biología desde el siglo XIX, según Shtulman (2006), investigaciones en psicología cognitiva suministran evidencias de que tal esencialismo biológico está ampliamente presente en la forma como se interpreta el mundo vivo por individuos de todas las edades y de diferentes culturas. La permanencia de este tipo de pensamiento entre los estudiantes les impide comprender el papel de la variabilidad intrapoblacional presente en el proceso evolutivo, como elemento fundamental para la actuación de la selección natural. Él también hace que aun la evolución se conciba intuitivamente como un proceso, en el cual la esencia de la especie se transforma a lo largo del tiempo, a partir de la transformación individual de cada organismo, y no como un proceso poblacional, en el cuál son las poblaciones las que cambian a lo largo del tiempo, de acuerdo con la frecuencia de distribución de sus características.

Desde la perspectiva esencialista, la adaptación es típicamente interpretada como un ajuste individual espontáneo al ambiente, explicado por el desarrollo de un potencial innato de los miembros de la especie para ajustarse al medio, que correspondería a la realización de un movimiento natural. Eso es ilustrado por la siguiente explicación de un estudiante del nivel básico de secundaria cuando se refiere al camuflaje de insectos: “(...) se tienen varios insectos que cuando nacen de huevos, así, por ejemplo, en una planta, él cambia de color para no ser atractivo, para esconderse. [Las crías van] cambiando [la forma] de acuerdo con la naturaleza en que él está viviendo” (EM).

Error categorial: ontogenia versus filogenia

La literatura sobre concepciones alternativas acerca de conceptos de la biología evolutiva ha mostrado que los estudiantes confunden a menudo las adaptaciones evolutivas con las fisiológicas u ontogenéticas, que ocurren a lo largo del ciclo de vida de un individuo, como reacciones inmunes y tolerancia a las diferentes condiciones ambientales (Brumby, 1983; Bishop; Anderson, 1990).

En esta investigación encontramos resultados semejantes en estudiantes del nivel universitario, cuando se les preguntó si el proceso de oscurecimiento de la piel como consecuencia de la exposición al sol y la posesión de labelo modificado por una especie de orquídea, podrían ser considerados ambos indistintamente como adaptaciones. Aproximadamente un tercio de los estudiantes respondió que sí, con la justificación de que ambos consistían en mecanismos desarrollados por los organismos para aumentar sus oportunidades de supervivencia y protección: “Sí, ambos representan un ajuste o acoplamiento de los organismos a las adversidades a las cuales están expuestos” (LCB₂).

Entre los estudiantes del nivel de la básica secundaria, adaptaciones evolutivas como los colores y formas camufladas de los insectos, fueron interpretadas como ajustes deliberados del organismo al ambiente en el que vive; de forma análoga, los cambios de color en el camaleón. Esto se observa en el siguiente ejemplo:

El [“bicho-hoja”] usa este color para protegerse. Porque cualquier lugar en el que él esté, él se adapta al color. No como el camaleón, que cuando sale a un lugar, puede ser la pradera, en el desierto, en cualquier lugar, él queda con el mismo color, para protegerse de los predadores. (...) Queda más difícil ser visto por los ojos de gavilanes y por otros pájaros que intenten comérselo (EM).

Lo anterior, se trata de un error categorial, una vez que son atribuidas las propiedades ontológicas de un tipo de proceso natural a otro. Para que visualicemos mejor cómo ocurre esto, podemos retomar la distinción hecha por Sober (1993) entre adaptación ontogenética y adaptación evolutiva. Uno de los aspectos fundamentales analizados por este autor, es el hecho según el cual la adaptación ontogenética es caracterizada por presentar claramente un agente y un beneficiario, estructurando ambos una misma entidad, el organismo. Cuando un organismo comienza a sudar, es él quien está adaptándose al calor. Más aun, la transpiración sirve para incrementar su propia perspectiva de supervivencia. No se puede decir lo mismo de la adaptación evolutiva. No hay propiamente un agente ni un beneficiario en los términos utilizados para describir la adaptación ontogenética. Los organismos no son agentes de la adaptación evolutiva: las mutaciones ciegas o no dirigidas ocurren en un proceso de selección multigeneracional, un rasgo pasa a prevalecer en la población, dando origen a adaptaciones evolutivas, pudiendo suceder que ningún organismo individual podría siquiera sobrevivir al inicio o al final del proceso. Puede ocurrir en ese caso adaptación evolutiva aún sin que ningún organismo sufra algún cambio.

Tal confusión puede estar fundada, por ejemplo, en la analogía entre desarrollo y evolución, la cual lleva al estudiante a transferir características ontológicas del proceso de desarrollo, como ser secuencialmente ordenado, dirigido a una meta específica y sucedido a lo largo del tiempo de vida de un organismo, y que se entiende como proceso evolutivo. En estos casos, se genera una confusión entre un proceso transformacional y el desarrollo, en el cual una única entidad pasa por una serie de prácticas secuenciales de transformación, con un proceso variacional, esto es la evolución biológica, en la cual una población de individuos cambia a lo largo del tiempo en su distribución de características.

Resultados obtenidos por el equipo de Biología del Programa Nacional del Libro Didáctico del nivel de básica secundaria (PNLEM), que analizó críticamente dieciocho libros de Biología publicados en Brasil, revelaron que un problema muy común en los materiales didácticos excluidos del programa (que, por esta razón, no podrán ser comprados por el gobierno brasileño para los estudiantes de las escuelas públicas) consistía en el uso indiscriminado de los términos 'desarrollo' y 'evolución' (Roca *et al.*, 2007). Esto contribuye a reforzar los obstáculos que precisamente los alumnos requieren transponer, para que las concepciones cotidianas se desplacen hacia las explicaciones científicas; en particular, el problema radica en la confusión existente entre dos procesos característicos, la evolución biológica y el desarrollo. Este problema puede ser ilustrado por los siguientes ejemplos: "En las abejas, por ejemplo, los óvulos no fecundados *evolucio-*

nan partenogénicamente en machos o zánganos...” (Morandini; Bellinello, 2005, p. 427. Grifo nuestro); “Se cree que los animales pluricelulares se desarrollaron a partir de antepasados unicelulares” (Cheida, 2005, p. 85. Grifo nuestro).

Supernaturalismo y reacción al discurso naturalista de la ciencia

Gran parte de los estudiantes presentan como eje organizador de su visión de mundo, la noción de que el mundo natural está relacionado, en términos causales, con lo sobrenatural. Así, frente a las dificultades en la comprensión de explicaciones naturalistas de la ciencia debido a aspectos que de antemano les parecen contra-intuitivos, los modelos científicos son fácilmente adheridos en favor de las explicaciones religiosas, sin que la plausibilidad del modelo científico explicativo sea analizada con mayor atención. En justificaciones dadas por estudiantes de enseñanza superior en torno al hecho de que no creyeran completamente en la teoría darwinista de la evolución, es posible percibir la tendencia anterior:

Yo creo en un creador, ya que da mucha más lógica a la vida y su complejidad, que la teoría evolucionista. De una cierta manera, estas personas que creen [en la teoría evolucionista] también tendrán que tener “fe” para creer que esa complejidad tan grande surgió de una “nada simple” (LCB₂).

Concuerdo con las explicaciones de la selección natural, mutaciones, etc., que el evolucionismo enseña, sin embargo, creo en una inteligencia superior guiando todos los procesos y no en el simple azar (LCB₂).

Es posible inferir que el argumento de estos alumnos está basado en la idea de que el origen y la evolución de la complejidad organizacional observada en los seres vivos, no pueden ser explicadas satisfactoriamente por la acción de procesos fortuitos, como supuestamente es propuesto por la teoría de la selección natural, siendo para ellos más plausible suponer la acción de un agente externo que coordina, de manera planeada e inteligente, la organización de los diferentes elementos y subsistemas en sistemas más complejos. Si así lo fuera, el argumento está fundamentado en una concepción equivocada de que la selección natural es un proceso totalmente contingente. Aunque la variación genética existente en una población, sobre la cual la selección natural opera, sea resultante de eventos que no son dirigidos ni por el ambiente ni por los organismos (mutaciones y recombinaciones genéticas), la supervivencia de los individuos en sus interacciones ecológicas, uno de los puntos centrales de la teoría de la selección natural, no es producto del azar (Meyer y El-Hani, 2000, p. 163).

En el caso de la primera cita, el aspecto contra-intuitivo de la teoría evolucionista parece estar también asociado a la ausencia de la idea de autoorganización. Entonces podríamos concluir que, una vez aclarado este carácter de la selección natural y el principio de la autoorganización, estos alumnos podrían aceptar la plausibilidad del modelo explicativo darwinista para la adaptación y diversificación de la vida. Sin embargo, esta es una hipótesis que necesita ser investigada mejor, una vez que conlleva un aspecto bastante controvertido, que viene ganando espacio en la literatura en enseñanza de ciencias a través de trabajos que discuten los papeles de la creencia, del conocimiento y de la comprensión como objetivos de la enseñanza de ciencias (Smith *et al.*, 1995; Alters, 1997; Cobern, 1996, 2004, Smith; Siegel, 2004). De este modo, se hace necesario desarrollar mejor las bases epistemológicas para la construcción de tal hipótesis y su comprobación empírica.

El hecho es que el conflicto entre aspectos de la visión de mundo de los alumnos y las presuposiciones metafísicas del discurso científico, ha sido frecuentemente citado como una de las dificultades a ser enfrentada y superada en la enseñanza del concepto de evolución (Bishop y Anderson, 1990; Smith *et al.*, 1995; Alters; Nelson, 2002). Este conflicto se acentúa cuando los estudiantes asumen la tesis de que el naturalismo y materialismo de la ciencia implican una negación del lugar de Dios en el mundo (Smith *et al.*, 1995).

Confusión semántica

Algunos de los obstáculos analizados anteriormente pueden originarse o pueden ser reforzados por la dificultad que presentan los alumnos para identificar el significado de algunos términos en el contexto de las ciencias biológicas o, más específicamente, de la biología evolutiva, con respecto al significado que dichos términos tienen en el contexto cotidiano.

Un ejemplo típico de confusión semántica relacionada con la incompreensión de la teoría darwinista de la evolución es el desconocimiento del sentido atribuido al término “azar” en el vocabulario científico. Los estudiantes, al atribuir un significado cotidiano al término, acaban por concebirlo como ausencia de una determinación causal. Sin embargo, en el contexto del discurso científico, cuando se dice que algún fenómeno se dio al azar, no se está diciendo que no hubo un conjunto de causas determinando la ocurrencia del mismo, pero sí que esta causa, no es una causa necesaria. En la biología evolutiva, en particular, el término se refiere al hecho de que los eventos evolutivos ocurren de forma no dirigida, no predeterminada, pero la confusión con el significado cotidiano es tan perjudicial para la

comprensión de las teorías darwinistas de la evolución que Gould (2002) recomienda que no se use el término ‘azar’ para referirse a la variación.

Confusión semántica semejante puede presentarse en el propio medio académico, como sugiere el análisis de Gould y Lewontin (1978) acerca del uso del concepto de ‘adaptación’ en el campo de la Biología. Los autores señalan cómo uno de los problemas enfrentados por el concepto de adaptación, es el uso del término mismo para designar una variedad de fenómenos biológicos relativos al ajuste de los organismos al ambiente, pero que ocurren en tres niveles jerárquicos y por diferentes causas. Los autores lamentan el hecho de que “nuestro lenguaje” se haya enfocado solo al resultado común a procesos diversos y designado tres fenómenos diferentes de ‘adaptación’: la adaptación fisiológica, la adaptación cultural y la adaptación darwiniana (Gould y Lewontin, 1978, p. 84).

Gould y Lewontin destacan dos consecuencias de este hecho: (1) han sido opacadas las diferencias entre estos tres procesos –*plasticidad fenotípica*, que permite a los organismos moldear su forma a las circunstancias prevalentes a lo largo de la ontogenia; *herencia cultural*, decurrente del aprendizaje; y el *mecanismo darwinista* de selección de variedades genéticas, respectivamente. (2) Los evolucionistas frecuentemente no han distinguido estos tres niveles y han sido conducidos, equívocamente, a extender el proceso darwinista a los otros dos niveles. Gould y Lewontin (1978, p. 84) se refieren, por ejemplo, al “razonamiento confuso” presente en la sociobiología humana y al razonamiento adaptacionista que permite inferir la acción de la selección natural a partir de la existencia de un ajuste óptimo entre organismo y ambiente, como ejemplos de las consecuencias en la investigación en biología evolutiva.

Interpretando el anterior análisis de Gould y Lewontin (1978) a la luz de la relación hecha por Vygotsky (2001) entre la historia de la evolución del lenguaje y la ontogénesis de un concepto, podemos decir que la palabra ‘adaptación’, al ser usada para designar una serie de fenómenos que tienen en común solo la característica de representar ajustes de los organismos al medio, pero que difieren en relación a los procesos por los cuáles ocurren, no asume la función de formar o construir un concepto, tan solo se limita a la función de nombrar o de referir.

Este hecho puede explicar algunos de los resultados que obtuvimos con alumnos de nivel superior. Gran parte de los estudiantes que se encontraban en el segundo semestre del curso, usaban indistintamente el término ‘adaptación’ para fenómenos fisiológicos y evolutivos, sin saber distinguir con claridad los dos procesos. Algunos alumnos próximos a la finalización

del curso, por su parte, rechazaron la aplicación del término para designar una reconocida adaptación evolutiva: *la semejanza estructural de una especie de orquídea con el cuerpo de la hembra de una especie de avispa que la poliniza*, con las siguientes justificaciones:

El término adaptación tiende a una acción direccionada. Mejor [denominarla de] una ventaja adaptativa en relación a algo (LCB7).

No. No creo que ella se adaptó para eso, apenas fueron seleccionadas aquellas que poseían esa característica, pues fueron mejor ocurridas (LCB7).

Pienso que no, ella puede haber surgido por azar (mutación). Y como esta característica fue benéfica y promovió mayor reproductividad a la especie, fue conservada al largo de los tiempos (LCB7).

Consideraciones finales

A partir de la identificación de los obstáculos discutidos anteriormente, sugerimos las siguientes directrices para la enseñanza de la evolución: (1) análisis causal y etiológico del fenómeno de la adaptación biológica; (2) estudio de conceptos de genética mendeliana y de genética de poblaciones que ayuden al desarrollo del pensamiento poblacional; (3) enfoque sobre el desarrollo histórico del darwinismo; (4) promoción de una mayor comprensión de la naturaleza de la ciencia; (5) preocupación por precisar el uso de términos que también son frecuentes en el lenguaje cotidiano y que se usan en el contexto del discurso científico.

La ausencia de un análisis causal y etiológico en las explicaciones de los alumnos en torno de los fenómenos adaptativos, ha sugerido que el primer paso para abordar el concepto darwinista de adaptación consiste en problematizar el propio fenómeno, partiendo de su descripción empírica en dirección de la necesidad de búsqueda de un mecanismo causal que explique su existencia. La expectativa es lograr así mostrar que características como formas y colores miméticos de algunos insectos o las sofisticadas plumas de las aves pueden dar respuestas a cuestionamientos no solo del tipo “¿cómo son?”, “¿cómo funcionan?”, sino también “¿cómo o de dónde se originaron?” o “¿por qué existen?”

En lo que concierne al compromiso con el esencialismo, Smith, Siegel y McInerney (1995, p. 40) llaman la atención con relación a la responsabilidad que le corresponde al propio currículo de Ciencias, que termina por reforzar el pensamiento tipológico, por ejemplo, al dar gran destaque a los

caracteres monogenéticos mendelianos, que no presentan variación cuantitativa, expresándose esto en tipos discretos. Ellos proponen que debe haber una mayor inversión en el abordaje de conceptos como expresividad variable, penetración incompleta, herencia poligenética, variación continua, pleiotropía y epistasia, los cuales propician mayores oportunidades para que los alumnos desarrollen lo que Mayr (1982) denominó pensamiento poblacional.

Consideramos que el abordaje histórico de la construcción del pensamiento evolutivo, realizado de modo que no sea anacrónico, presentándose el contexto cultural y tecnológico en que las diferentes teorías evolutivas fueron desarrolladas, podrá dilucidar en los estudiantes las contribuciones que las ideologías, las visiones de naturaleza y el conocimiento, así como los datos empíricos, tuvieron en la construcción de estas ideas. De esta forma, los alumnos probablemente podrán identificar los compromisos epistemológicos y ontológicos que las sustentan y, análogamente, reconocerán en su propia visión de mundo presuposiciones sobre la naturaleza y sobre cómo ella puede ser conocida, las cuales se encuentran en la base de concepciones alternativas y la estructura conceptual darwinista.

Una serie de estudios han demostrado que las dificultades que presentan los estudiantes del nivel de básica secundaria, de comprender la teoría de la selección natural y las razones que la justifican, haciendo que esta sea ampliamente aceptada por la comunidad académica, están fuertemente relacionadas con la presencia de concepciones erróneas acerca de la naturaleza de la ciencia (Rudolph; Stewart, 1998; Sinatra; Southerland; McConaughy; Desmastes, 2003; Dagher; Boujaoude, 2005). Por lo tanto proponemos que, permeando el análisis histórico de la construcción del pensamiento darwinista, se promueva una mejor comprensión de la naturaleza del conocimiento científico a través de cuestiones del tipo: “¿qué preguntas pretendía responder Darwin con su teoría?”; “¿qué reacciones presentó la comunidad de naturalistas contemporánea de Darwin en relación a sus ideas?”; “¿cuál fue la naturaleza del abordaje metodológico empleada por Darwin en la construcción de la teoría de la selección natural?”, “¿cuáles fueron los argumentos que él usó para responder las posibles objeciones su teoría?” etc.

Con relación a los posibles conflictos entre las creencias religiosas de los alumnos y la narrativa darwinista de la evolución de la vida, ha sido enfatizada, por autores como Cobern, Smith y Siegel (Cobern, 1994, 2000; Smith, 1994; Smith *et al.*, 1995; Smith y Siegel, 2002), la importancia de discutir las presuposiciones metafísicas de la ciencia y la relación con sus objetos de conocimiento, criterios epistemológicos y procedimientos metodológicos. Smith *et al.* (1995) sugieren que, al discutir estos aspectos, los profesores

deben aclarar que dada su naturaleza empírica, la ciencia es teológicamente neutra necesariamente, de modo que el pensamiento evolutivo no sostiene que Dios no existe, pero sí que el concepto de Dios no es pertinente al abordaje científico de los eventos naturales. En un artículo posterior, Smith y Siegel (2004) consideran válido que, al utilizar tal argumento acerca de la naturaleza empírica de la ciencia, el profesor explicita que el objetivo de la enseñanza no es hacer que los estudiantes rechacen sus creencias, pero sí que comprendan la naturaleza del conocimiento científico. De hecho, este modo de concebir los objetivos de la enseñanza de ciencias parece ser una condición necesaria para la construcción de una educación científica al mismo tiempo eficaz y sensible a la diversidad cultural.

Referencias bibliográficas

- Alters, B. J. (1997). Should student belief of evolution be a goal. En: *Reports of the National Center for Science Education* (17), 15-16.
- Alters, B. J.; Nelson, C. E. (2002). Teaching evolution in higher education. En: *International Journal of Organic Evolution*, 56 (10), 1891-1901.
- Amundson, R. (1996). Historical development of the concept of adaptation. En: M. R. Rose y G. V. Lauder (Eds.). *Adaptation*. San Diego: Academic Press.
- Ayuso, E. y Banet, E. (1998). Relaciones genética-evolución en la educación secundaria. Concepciones de los alumnos y actividades de enseñanza en el marco del constructivismo. En: *Investigación e innovación en la enseñanza de las ciencias* (2), 43-53.
- Bishop, B. A. y Anderson, C. W. (1990). Student conception of natural selection and its role in evolution. En: *Journal of Research in Science Teaching*, 27 (5), 415-427.
- Bizzo, N. M. V. (1994). From down house landlord to Brazilian high school students: what has happened to evolutionary knowledge on the way. En: *Journal of Research in Science Teaching*, 31 (5), 517-556.
- Bock, W. J. y Wahlert, G. V. (1998). Adaptation and the form-function complex. En: C. Allen, M. Bekoff y G. Lauder. *Nature's purposes: Analyses of Function and design in Biology*. Massachusetts: Bradford Book.
- Bowler, P. J. (2003). *Evolution: The history of an Idea* (3°. Ed.). Berkley: University California Press.
- Brumby, M. N. (1984). Misconceptions about the concept of Natural Selection by Medical Biology students. En: *Science Education*, 68 (4), 493-503.

- Cheida, L. E. (2005). *Biología integrada*. São Paulo: FTD.
- Clough, E. E. y Wood-Robinson, C. (1985). How secondary students interpret instances of biological adaptation. En: *Journal of Biological Education*, 19 (2), 125-130.
- Coburn, W. W. (1994). Point: Belief, understanding and the teaching of Evolution. En: *Journal of Research in Science Teaching* (31), 583-590.
- _____ (1996). Worldview theory and conceptual change in science education. En: *Science Education* (80), 579-610.
- _____ (2000). The nature of science and the role of knowledge and belief. En: *Science & Education* (9), 219-246.
- _____ (2004). Apples and oranges: A rejoinder to Smith and Siegel. En: *Science & Education* (13), 583-589.
- Dagher, Z. R. y Boujaoude, S. (2005). Student's perceptions of the nature of evolutionary theory. En: *Science & Education*, 89, (3), 379-391.
- Darwin, Ch. (1985). *Origem das Espécies*. E. Amado (Trad.) São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo.
- Dawkins, R. (1986). *The blind watchmaker*. New York: Norton.
- Deadman, J. A. (1976). *The structure and development of concepts associated with the topic of Evolution in secondary school boys*. [PhD. Thesis] London: Chelsea College, London University.
- Deadman, J. A. y Kelly, P. J. (1978). What do secondary school boys understand about evolution and heredity before they are taught the topics? En: *Journal of Biological Education* (12), 7-15.
- Demastes, S. S.; Sttlage, J. y Good, R. (1995). Students' conceptions of Natural Selection and its role in Evolution: Cases of replication and comparison. En: *Journal of Research in Science Teaching*, 32 (5), 535-50.
- Dobzhansky, T. (1937). *Genetics and the Origen of species*. Nova Iorque: Columbia University Press.
- El-Hani, C. N. y Bizzo, N. (2002). Formas de construtivismo: mudança conceitual e construtivismo contextual. En: *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências*, 4 (1), 1-25.
- Ferrari, M. y Chi, M. T. H. (1998). The nature of naïve explanations of natural selection. International. En: *Journal of Science Education*. 20 (10), 1231-1256.

- Freire Jr., O. A. (2002). Relevância da filosofia e da história das ciências para a formação dos professores de ciências. En: S. Filho (Ed.). *Epistemologia e ensino de ciências*. Salvador: Arcádia.
- Futuyma, D. (1992). *Biologia evolutiva*. Ribeirão Preto: SBC/CNPq.
- Godfrey-Smith, P. (1999). Adaptationism and the power of selection. En: *Biology and Philosophy* (14), 181-194.
- Gould, S. J. (2002). *The Structure of the Evolutionary Theory*. Cambridge-MA: Harvard University Press.
- Gould, S. J. y Lewontin, R. (1978). The spandrels of San Marco and the Panglossian paradigm: a critique of the adaptationism programmed. En: *Proceedings of the Royal Society of London* (205), 581-598.
- Hull, D. L. (2002). Recent philosophy of Biology: A review. En: *Act Biotheoretica* (50) 117-128.
- Krimbas, C. B. (1994). On adaptation, neo-darwinism tautology and population fitness. En: *Evolution Biology* (17) 1-57.
- Levins, R. y Lewontin, R. (1985). *The dialectical biologist*. Cambridge: Harvard University Press.
- Maynard Smith, J. (1969). The status of neo-darwinism. In Waddington, C. H. (Ed.). *Towards a Theoretical Biology*. Edinburgh: University Press.
- Mayr, E. (1982). *The growth of Biological thought. Diversity, evolution and inheritance*. Cambridge: The Belknap Press.
- _____ (1988). *Toward a new philosophy of Biology: Observations of an Evolutionist*. Cambridge: Harvard University Press.
- Meyer, D. y El-Hani, C. N. (2000). Evolução. En: C. N. El-Hani y A. A. P. Videira (Orgs.). *O que é vida afinal? Para entender a Biologia do século XXI*. Rio de Janeiro: Relume Dumará.
- _____ (2005). *Evolução: o sentido da Biologia*. São Paulo: Editora UNESP.
- Morandini, C. y Bellinello, L. C. (2005). *Biologia*. São Paulo: Atual.
- Mortimer, E. F. (1994). *Evolução do atomismo em sala de aula: mudança de perfis conceituais*. [Tese Doutorado em Educação]. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Educação.
- _____ (1995). Conceptual change or conceptual profile change? En: *Science & Education* (4) 267-285.

-
- _____ (2000). *Linguagem e Formação de Conceitos no Ensino de Ciências*. Belo Horizonte: Editora UFMG.
- Posner, G. J.; Strike, K. A.; Hewson, P. W. y Gerzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception. Toward a theory of conceptual change. En: *Science & Education*, 66 (2), 211-227.
- Rocha, P. L. B., Roque, N.; Vanzela, A. L. L.; et al. (2007). Brazilian high school biology textbooks: main conceptual problems in evolution and biological diversity. En: *Proceedings of the IOSTE International Meeting on Critical Analysis of School Science Textbooks*, pp. 893-907. Tunis: University of Tunis.
- Rose, M. R. y Lauder, G. V. (1996). Post-Spandrel Adaptationism. En: M. R. Rose y G. V. Lauder (Eds.). *Adaptation*. San Diego: Academic Press.
- Ross, D. (1995). *Aristotle* (6°. Ed.). London: Routledge.
- Rudolph, J. L. y Stewart, J. (1998). On the historical discord and its implications for Education. En: *Journal of Research in Science Education*, 35 (10), 1069-1089.
- Santos, S. (2002). *Evolução Biológica: ensino e aprendizagem no cotidiano de sala de aula*. São Paulo: Annablume: FAPESB.
- Shtulman, A. (2006). Qualitative differences between naïve and scientific theories of evolution. En: *Cognitive Psychology* (52), 170-194.
- Sinatra, G. M.; Southerland, S. A.; McConaughy y Demastes, J. W. (2003). Intentions and beliefs in students' understanding and acceptance of Biological evolution. En: *Journal of Research in Science Teaching*, 40 (5), 510-528.
- Smith, M. U. (1994). Counterpoint: belief, understanding, and the teaching of evolution. En: *Journal of Research in Science Teaching* (31), 591-597.
- Smith, M. U. y Siegel, H. (2004). Knowing, believing and understanding: What goals for science education? En: *Science & Education* (13), 553-582.
- Smith, M. U.; Siegel, H. y McInerney, J. D. (1995). Foundational issues in evolution education. En: *Science & Education* (4), 23-46.
- Sober, E. (1993). *The Nature of selection: evolutionary theory in philosophical focus*. Chicago: The University of Chicago Press.
- _____ (1994). *From a biological point of View: essays in Evolutionary Philosophy*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Sterelny, K. y Griffiths, P. E. (1999). *Sex and death: an introduction to Philosophy of Biology*. Chicago: The University Chicago Press.