

El desafío del tree thinking: un análisis del uso de árboles evolutivos con estudiantes de educación secundaria
The Tree-thinking Challenge: Analyzing the Use of Evolutionary Trees with Secondary Education Students

Gonzalo Peñaloza¹, Jairo Robles-Piñeros²

¹Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. ²Universidade Federal da Bahia, Brasil.

¹gpjimenez10@gmail.com ; ²jairohxcbogota@gmail.com

Recibido 15/03/2016 – Aceptado 30/04/2016

Resumen

El artículo presenta el análisis del desarrollo del pensamiento de árbol (treethinking) en estudiantes de Noveno (9º) grado de Educación Secundaria de un colegio público en Bogotá (Colombia). Se utilizó un enfoque cualitativo para estudiar las explicaciones, los argumentos y las representaciones esquemáticas de los estudiantes acerca de las relaciones evolutivas entre algunas especies y su ancestro común. Para esto se usaron transcripciones de episodios de clase y notas de campo de los investigadores. Las representaciones de los estudiantes se contrastaron con los tipos de errores en la lectura y la construcción de árboles que la literatura especializada ha reportado. La investigación concluye que si bien los estudiantes mejoraron su capacidad de desarrollar el pensamiento en árbol y construir relaciones evolutivas, el uso de este tipo de representación requiere de una adecuada preparación del profesor que le permita tener en mente y superar las dificultades que en este trabajo se documentan y que se han referido en las investigaciones al respecto.

Palabras clave: Árboles evolutivos, Enseñanza de la evolución, Pensamiento en árbol, Treethinking.

Abstract

This paper deals with an analysis of tree thinking development in ninth grade secondary education students of a public school in Bogota (Colombia); for this, transcriptions of class recordings, field and observation notes, and data analysis documents were used. A qualitative approach was used to study the students' explanations, arguments and schematic representations about the evolutionary relations between some species and their common ancestor. The observations and interpretations made allow to assert that the students are able to develop tree thinking and to build evolutionary relations. However, using the visual representation of evolutionary trees requires teachers to receive a kind of training that would allow them to take into account and overcome the difficulties documented in this work.

Keywords: Evolutionary Trees, Evolution Teaching, Tree Thinking.

Introducción

Las representaciones visuales tienen un papel importante en el proceso de aprendizaje y enseñanza de las ciencias (Gilbert, 2010) ya que permiten procesar la información más eficazmente que del modo verbal, facilitando el acceso, la manipulación y la comparación de la información. Las visualizaciones permiten hacer inferencias, resolver problemas e identificar relaciones que de otra forma no serían visibles (Vavra et al., 2011). Es decir, este tipo de representación no cumple sólo una función comunicativa sino también cognitiva y conceptual. De hecho, ciertos tipos de visualización pueden llegar, en determinados contextos, a reemplazar las explicaciones verbales o textuales. Por ejemplo, los mapas comunican las relaciones espaciales de una manera más completa que las explicaciones verbales (Kastens & Liben, 2007).

La comprensión científica de cualquier fenómeno, generalmente, incluye la elaboración de una representación visual sobre un fenómeno que permite compartir entre la comunidad científica la síntesis alcanzada (Gilbert, 2010). De manera que la comprensión más profunda sobre la realidad ha ido de la mano con un mayor uso de visualizaciones y de lenguajes abstractos (Braga, Phillips & Norris, 2012). Particularmente, en la biología moderna las representaciones juegan un papel muy importante para expresar conceptos, teorías y modelos de diversos procesos.

En relación con lo anterior, uno de los propósitos de la educación científica es acercar a los estudiantes a los diversos modelos y representaciones que la ciencia ha desarrollado. Esto implica que los profesores deben promover el uso de las representaciones visuales (Eilam & Gilbert, 2014), enseñar la semiótica de las visualizaciones y desarrollar las habilidades específicas para comprenderlas (Gilbert, 2010). Para que esto sea posible, se requiere conocer profundamente el alcance y las limitaciones que tienen los modos, formas y códigos de las representaciones que se usan en las ciencias naturales y la forma de usarlos en la enseñanza. A pesar de ello, la comprensión que la didáctica de las ciencias tiene sobre la forma en que los estudiantes entienden las representaciones científicas en general, y las biológicas en particular, es aún incipiente (Braga et al., 2102). Por estas razones, desde hace algunos años, se desarrollan estudios tendientes a mejorar la comprensión del uso de las representaciones para la enseñanza de las ciencias en contextos específicos (Eilam & Gilbert, 2014; Halverson, 2011; Halverson, Pires & Abell, 2011; Liu, Y., Won, M. & Treagust, D. 2014).

En el caso de la biología, una de las representaciones visuales más importantes son los árboles filogenéticos. Si bien este tipo de representaciones es ampliamente extendido en el ámbito experto de la biología, no es clara la manera en que puede ser apropiado por usuarios nóveles. Por ende, es preciso ahondar en la comprensión de su uso, conocer sus alcances, propósito y el contexto en que pueden ser usadas; establecer las maneras más apropiadas de enseñar las convenciones usadas en la imagen y precisar los conocimientos previos que están relacionados con esta representación visual (Braga et al., 2012; Halverson et al., 2011).

Antecedentes Teóricos

La importancia de los árboles filogenéticos en la biología

Sin lugar a duda, uno de los principales conceptos para avance en la consolidación y desarrollo del pensamiento evolutivo fue el de "ancestro común" que explica la relación entre diferentes especies. Hasta el siglo XIX predominó una representación lineal de la diversidad de la vida enmarcada en el pensamiento aristotélico que ubicaba a los seres vivos en una "escalera de progreso" con los humanos en el acmé de este continuo; hasta entonces ese fue el patrón explicativo estándar (Gould, 2010). Fue solo después del trabajo de Charles Darwin y Alfred R. Wallace, que se utilizó el término de "ancestro común" como concepto explicativo de la relación entre las especies y se abrió paso una concepción de la vida como un proceso no dirigido y ramificado (Baum y Smith, 2013).

Una herramienta, tanto para organizar como para expresar las ideas evolutivas de Darwin y Wallace, fue la elaboración de un diagrama que representó las relaciones entre las especies, capaz de sintetizar de manera clara el largo y complejo proceso de diversificación de los seres vivos y de sus relaciones, partiendo de la existencia de ancestros comunes. De esta manera, Darwin y Wallace expresaron la idea de que todos los organismos, vivos y extintos, en algún momento compartieron un antepasado común (Baum y Smith, 2013, p. 6).

El siglo XIX estuvo marcado por la aparición de novedosas explicaciones sobre el desarrollo de la vida y el origen de las especies que habitan el planeta. En 1809, Jean Baptiste Lamarck propuso una explicación del proceso evolutivo basada en el concepto de caracteres adquiridos (Asimov, 1983). Si bien sus ideas se basaron en una perspectiva lineal de la vida y de la incansable "marcha hacia el progreso" (Gould, 1999) (Figura 1), fueron importantes porque, por primera vez, representaron la relación entre las principales clases de vertebrados mediante un esquema semejante a un árbol (Gould, 1999).

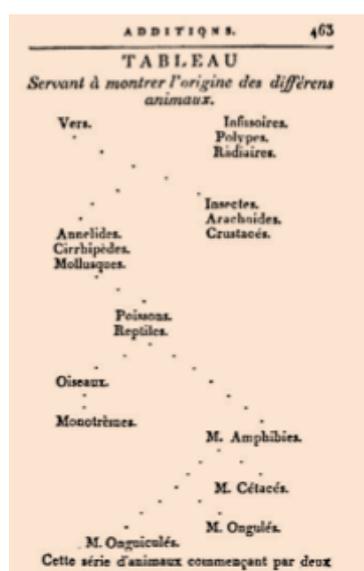


Figura 1. Representación del "Arbre de la vie" de Jean Baptiste Lamarck. Tomado de su Philosophie Zoologique (1809).

No obstante, el primer registro de un esquema de árbol como explicación del proceso evolutivo se encuentra en los borradores de 1837 de Charles Darwin. En este dibujo se visualiza la evolución en forma arbórea, con todas las especies vivas (ramas) conectadas a otra rama principal (ancestro común, Figura 2) que representa organismos del pasado (Baum y Smith, 2013, p. 14).

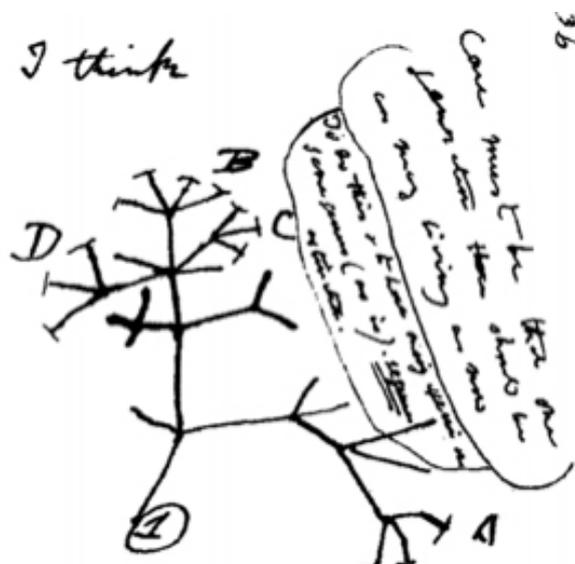


Figura 2. Borrador del Primer esquema de Charles Darwin de un árbol evolutivo en su First Notebook on Transmutation of Species (1837).

Desde aquella primera representación, los árboles filogenéticos juegan un papel preponderante en la biología moderna, ya que proveen una forma concisa de visualizar el proceso evolutivo por descendencia de ancestros comunes. En comparación con otras formas de representación, que en el curso de la historia se usaron —como la escalera o la gran cadena del ser— el modelo de árbol provee una forma simple de entender el continuum de la vida, reemplazando el concepto de individuo por el de biopoblación (Baum y Smith, 2013, p. 4).

Dada la importancia que este tipo de representación tiene, hoy se considera que el desarrollo de pensamiento en árbol (tree-thinking) es una habilidad necesaria para comprender la biología moderna. Dado que esta representación se usa en muchas ramas de la biología:

"existe una fuerte evidencia, proveniente de muchos tipos de datos, de que la historia evolutiva de las especies casi siempre implica la ramificación de los linajes evolutivos sin fusión subsecuente. La evolución realmente parece ser como un árbol." (Baum & Smith, 2013, p. 2).

Uno de los elementos centrales del pensamiento evolutivo es que existen rasgos que cambian a través del tiempo. Los árboles filogenéticos permiten visualizar la historia

evolutiva de esos rasgos y descubrir sus patrones generales; a su vez, permiten reconstruir los cambios de un tipo de rasgos a lo largo de generaciones (Gould, 1999, p. 21) (Figura 3).

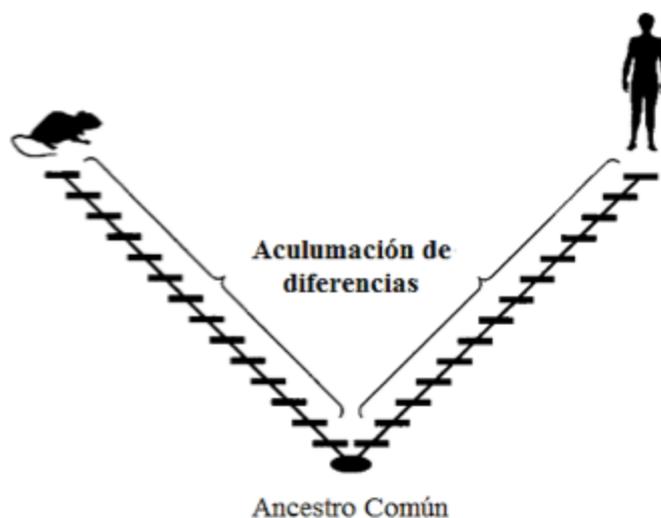


Figura 3. Las barras representan los muchos rasgos que se han acumulado en los linajes del humano y el ratón desde que estas dos especies compartieron un ancestro común. Tomado y adaptado de Baum y Smith, 2013.

Características de los árboles filogenéticos

El pensamiento en árbol se define como la capacidad de visualizar el proceso evolutivo en forma de arbórea, así como el uso de diagramas con esta forma para comunicar y analizar eventos evolutivos. Este tipo de pensamiento implica comprender mecanismos evolutivos y de herencia, y organizar relaciones evolutivas usando las representaciones como herramientas (Halverson et al., 2011).

Uno de los elementos centrales de las representaciones es el uso de metáforas que relacionan dos entidades sobre la base de ciertas características (Gilbert, 2010). Algunas metáforas son más evidentes y claras que otras. Los árboles filogenéticos se tienen como punto de partida la comparación entre la evolución de la vida con un árbol pero, como toda metáfora, tiene alcances y limitaciones.

Los árboles filogenéticos son diagramas abstractos y altamente esquemáticos que representan procesos evolutivos que no son observables o que son muy difíciles de observar y que están mediados por convenciones para su interpretación (Philips, Novick & Catley, 2010). Desde luego, con estos no se pretende hacer una representación literal de la realidad, sino establecer un modelo que relaciona grupos de seres vivos basándose en sus historias evolutivas y sus ancestros comunes (Halverson, 2011). En los árboles todos los organismos están relacionados y se conectan en una única representación. Los taxones son ubicados en los ápices de las ramas y se asume que en los nodos se representan ancestros.

En otras palabras, los árboles filogenéticos y el pensamiento en árbol permiten visualizar y modelar como los rasgos evolucionan; entender qué significa estar relacionado;

tener un conocimiento organizado de la diversidad biológica y reconstruir la historia evolutiva de un linaje (Baum y Smith, 2013). Como se evidencia, esta representación implica una abstracción en la que se relaciona lo que en apariencia puede no estarlo y que, por lo tanto, puede parecer contra intuitiva. Por esto, hay lugar para no pocas confusiones en su lectura y construcción.

Errores en el uso de los árboles

El uso efectivo de las visualizaciones en el contexto educativo implica conocer las habilidades que se requieren para usar una representación dada (Braga et al., 2012). En el caso de los árboles su carácter abstracto implica que se requiera de cierta preparación para su elaboración y lectura. Usarlos implica aprender sus convenciones y características; esto no es un proceso intuitivo ni espontáneo y se requiere de una formación específica para desarrollar las habilidades necesarias para emplearlos como una herramienta para comprender y explicar los procesos evolutivos (Halverson et al., 2011; Dees et al., 2014).

El hecho de que esta representación simplifique la comprensión sobre un proceso complejo como la evolución, no implica que su uso sea simple. Halverson (2011) señala que existen varios problemas con la interpretación de los árboles ya que quienes se aproximan por primera vez a su uso, tienden a enfocarse en características superficiales como la extensión de las ramas o su proximidad. Esto impide que los estudiantes rastreen linajes desde el ápice de las ramas hasta la raíz del árbol fijándose solamente en la cercanía entre las ramas y no en los nodos y el curso que cada linaje sigue desde la base. Otro error común es asumir que la alteración de la posición del árbol o de la forma de la rama (recta, doblada o curva) altera las relaciones que se están representando (Baum et al., 2005; Halverson, 2011; Halverson et al., 2011).

Por su parte Dees et al. (2014) afirman que una interpretación errónea de los árboles es usar la distancia entre los taxones en la representación para inferir, a partir de ella, su grado de relación. En otras palabras, se asume que cuanto más lejano este un taxón de otro, menos será su grado de relación. En esta lectura se desconocen los nodos y se deja de lado el ancestro común que puedan tener dos taxones, debido a que solo se tienen en cuenta los ápices de las ramas.

Otra inadecuada interpretación de los árboles es considerar que un grupo de organismos actuales deriva de otros también existente (Dees et al., 2014.). Así, se considera que un grupo está relacionado de cerca con otro porque el primero desciende del segundo y no porque tienen un ancestro en común muy reciente. También puede darse el error de contar los nodos entre los taxones para establecer su grado de relación. En un estudio llevado a cabo por Dees et al. (2014) con estudiantes universitarios de biología, se encontró que este es uno de los errores más comunes al tratar de explicar la relación entre taxones. Por otra parte, se encontró que es común que los estudiantes asuman que el proceso evolutivo sólo tiene lugar en los nodos y que las líneas rectas de los árboles indican que no hay cambios con respecto a los estados ancestrales.

Otro problema en la construcción de los árboles tiene que ver con el uso del

conocimiento común como criterio para establecer la relación entre los grupos. De esta manera, podría darse el caso de que alguien considere que las ballenas tienen más relación con un tiburón que con un mamífero, al basarse su juicio en características muy superficiales como que ambos organismos son acuáticos (Dees et al., 2014). Este problema se relaciona con el hecho de que los estudiantes tienen dificultades para usar diferentes tipos de información (biogeográfica, ecológica, etc.) para resolver problemas filogenéticos y representarlos en un diagrama de árbol. Por ejemplo, es posible que los estudiantes ignoren la evidencia genética y soporten sus razonamientos en las apariencias físicas (Halverson et al., 2011).

Con respecto al factor temporal implícito en los árboles, se puede asumir erróneamente que este fluye en sentido horizontal de manera que los grupos ubicados en la parte derecha evolucionaron antes que los que se ubican en el lado izquierdo (Dees et al. 2014). Por otra parte, vale la pena mencionar que algunos de los errores en la interpretación de los árboles filogenéticos tienen relación con la concepción que se tienen del proceso evolutivo. Así por ejemplo, cuando se concibe la evolución como un proceso lineal y direccional, ésta se representa con las ramas organizadas jerárquicamente de acuerdo con la complejidad de los organismos y tiende a ubicarse al ser humano en la parte más alta, para denotar que esta es la tendencia que subyace en la evolución (Dees et al. 2014).

Halverson (2011) resume los errores en las interpretaciones de los árboles en cuatro tipos de aproximaciones. En la primera de estas, denominada como "Aproximación centrada en los nodos" (*Node-focused approaches*), los estudiantes comparan representaciones centrándose en el largo de las ramas desde el nodo hasta el ápice, lo que conlleva a que pierdan de vista las relaciones entre las especies. De manera que cuando se rotan las ramas de un nodo, los estudiantes interpretan que el árbol cambió porque ahora el largo de la rama es mayor. Por el contrario, en la segunda perspectiva llamada "Aproximación centrada en las ramas" (*Branch-focused approaches*), los estudiantes enfocan su análisis en las ramas ignorando el papel que juegan los nodos en la representación.

La tercera perspectiva que refiere Halverson (2011) es la "Aproximación centrada en la proximidad" (*Proximity-focused approaches*). En este caso se interpretan los árboles sobre la base de la proximidad entre los ápices de las ramas y la distancia o tiempo entre el ápice y la raíz. De manera que se considera que los taxones están más relacionados cuanto más próximos estén, perdiendo de vista que la cercanía entre dos especies está relacionada con el hecho de compartir un ancestro común reciente.

Por último, Halverson (2011) define la "Aproximación centrada en el organismo" (*organism-focused approach*) que se da cuando la interpretación se hace sobre la base de las características del sentido común o de conocimientos científicos parciales y fragmentados, ignorando otros patrones que se representan en los árboles.

Habilidades asociadas con la lectura y la construcción de los árboles filogenéticos

Como ya se indicó, el uso de los árboles requiere de cierto nivel de experticia para

evitar los errores que comúnmente se cometen en la interpretación. Por ello se viene señalando la necesidad de precisar las habilidades necesarias para hacer un correcto uso de este tipo de representaciones. En este sentido, Halverson (2011) propone diferenciar entre las habilidades asociadas con la lectura y las asociadas con la construcción de árboles. Basándose en las habilidades en las representaciones científicas y los niveles de competencias representacionales propuestos por Kozma y Rusell (2005), presenta una categorización particular para el caso de los árboles filogenéticos. Adicionalmente, señala que las habilidades de lectura se desarrollan antes de las habilidades de construcción de los árboles y que ellas son esenciales para desarrollar la competencia de "pensamiento en árbol".

Como habilidades para la lectura de los árboles Halverson (2011) propone tres categorías de habilidades:

1. Reconocimiento y comprensión. Se reconoce y comprende el significado de las partes claves de un árbol filogenético simple: ramas, nodos y tiempo.

2. Identificación y uso: Se identifican y usan perspectivas científicas para interpretar y comparar los patrones de las relaciones evolutivas representadas (por ejemplo, grupos monofiléticos o parafiléticos). Se tiene en cuenta que el estilo o forma de la representación no es determinante en la representación.

3. Apoyo en las evidencias: Se usan los árboles filogenéticos como una evidencia para apoyar afirmaciones, hacer predicciones e ilustrar inferencias.

Estas habilidades se presentan en un orden creciente de experticia, de manera que en la primera se contempla el reconocimiento y comprensión de las convenciones asociadas con la representación, mientras que en la tercera el sujeto debería ser capaz de usar evidencias para apoyar sus afirmaciones y plantear predicciones basándose en su interpretación de los árboles.

En lo que respecta a la construcción de los árboles Halverson (2011) propone tres categorías como las más relevantes:

1. Diferenciación de la evidencia: Se distingue entre evidencias adecuadas y erróneas con respecto a establecer relaciones evolutivas.

2. Uso de la evidencia: Se usa la evidencia para construir representaciones ramificadas jerárquicas que simbolizan relaciones evolutivas entre taxones.

3. Comunicación: Se tiene la capacidad de verbalizar las relaciones representadas describiéndolas, discutiéndolas y manipulando la representación.

De nuevo, estas habilidades están presentadas en orden creciente de experticia. Así, un sujeto que alcanza la tercera habilidad está en capacidad de discutir y manipular la

representación como parte de su argumentación. Vale la pena aclarar que esta organización se basa en algunos supuestos de Kozma y Rusell (2005) quienes advierten que este orden progresivo no corresponde con una perspectiva piagetiana, sino que está asociado con el enfoque de Vigotsky, de tal forma que el desarrollo personal depende del contexto socio-cultural e implica que la progresión en las competencias depende más de la comunidad de práctica que del desarrollo natural del sujeto. Además, afirman que el desarrollo no es automático y uniforme, así que un sujeto puede alcanzar diferentes niveles de desarrollo de acuerdo con la situación en que se encuentre y el sistema simbólico que se use en un contexto particular.

Niveles de competencia representacional en el pensamiento de árbol

Halverson y Friedrichsen (2013), proponen siete niveles de competencia representacional que los estudiantes deben desarrollar en el proceso de abordaje y construcción de árboles filogenéticos, además proponen que dentro de cada nivel de competencia existen dos tipos de aproximaciones: la lectura de árboles y la construcción de árboles para comprender las diferencias de competencias en cada tarea.

Nivel 1: No uso de la representación

Lectura de árboles: No se usa la representación para darle sentido al escenario filogenético.

Construcción de árboles: no consideran o no son capaces de construir una representación visual como una solución posible para el escenario filogenético.

Nivel 2: Uso superficial de la representación

Lectura de árboles: Los estudiantes basan sus interpretaciones en rasgos superficiales de las representaciones como uniones sin información o proximidad de los organismos, sin hacer relaciones con los significados de la relación filogenética ilustrada.

Construcción de árboles: Los estudiantes elaboran una traducción literal del escenario filogenético y hacen un dibujo en el cual representan la manera como ellos entienden la relación entre organismos en el mundo natural.

Nivel 3: Uso simplificado de la representación

Lectura de árboles: Las interpretaciones de los árboles filogenéticos están basadas en la idea de una rama principal de la cual se desprenden otras. Se comparan las representaciones observando diferencias y similitudes entre el largo de las ramificaciones y/o el último punto de divergencia.

Construcción de árboles: Se elaboran representaciones basadas en taxonomía cotidiana o clasificaciones basadas en características morfológicas y ecológicas basadas en historias evolutivas.

Nivel 4: Uso simbólico de la representación

Lectura de árboles: Se comprenden los elementos simbólicos asociados con las representaciones de las partes de los árboles filogenéticos. Se otorga demasiado énfasis en los nodos cuando interpretan y comparan las representaciones filogenéticas.

Construcción de árboles: Se expresan visiones lamarckianas de la evolución (propósito, evolución progresiva con taxones de múltiples orígenes) y se elaboran representaciones continuas en las cuales los taxones evolucionan en otros.

Nivel 5: Uso conceptual de la representación

Lectura de árboles: No se establecen conexiones entre las representaciones de los árboles filogenéticos y la historia evolutiva representada. Las comparaciones entre representaciones filogenéticas están basadas en patrones físicos de ramificación.

Construcción de árboles: Las representaciones se desarrollan a partir de estructuras jerárquicas ramificadas, pero son defectuosas ya que ilustran relaciones incorrectas. Se separan los organismos en diferentes representaciones, sugiriendo que algunos grupos no están relacionados con otros y los incluyen en árboles separados.

Nivel 6: Uso científico de la representación

Lectura de árboles: Se interpreta científicamente las representaciones ilustradas dentro de la topología de un árbol filogenético basado en la representación de un ancestro común, en los patrones monofiléticos y las apomorfías implicadas en la separación de taxones.

Construcción de árboles: Se construyen representaciones filogenéticas científicamente correctas con estructuras jerárquicas que pueden justificarse y explicarse en términos evolutivos.

Nivel 7: Uso experto de la representación

Pensamiento en árbol: Son usadas y construidas múltiples representaciones para resolver problemas y explicar fenómenos evolutivos y hacer predicciones.

Metodología

El estudio tiene un carácter exploratorio dado que los estudios empíricos sobre el uso de los árboles por parte de los estudiantes de educación secundaria son escasos. Por otra parte, los instrumentos de investigación que se han usado en otros niveles educativos, como cuestionarios de selección múltiple, no son una herramienta adecuada para comprender la forma en que razonan los estudiantes (Halverson et al., 2011). Por esto, se planteó un abordaje cualitativo enfocado en los diálogos de los estudiantes para

así aproximarse a una comprensión de la forma en que los estudiantes razonan sobre la lectura y la construcción de árboles.

El estudio se desarrolló con 35 estudiantes (18 hombres, 17 mujeres) con un rango de edad entre 13-17 años ($M=15,62$) de noveno grado (9°) de enseñanza secundaria de una institución educativa pública de Bogotá (Colombia). La clase se desarrolló con base en una actividad didáctica que fue sugerida, discutida y convenida con la Profesora de Biología, quien tiene un nivel de experticia y de experiencia en la enseñanza de la biología que se consideró adecuado para los propósitos del estudio. La actividad titulada "Investigando el ancestro común: construyendo árboles evolutivos" (Anexo 1) fue una adaptación de una propuesta del *Working Group on Teaching Evolution–National Academy of Sciences* (1998). Esta actividad se seleccionó porque combina la lectura de los árboles filogenéticos con una sencilla construcción de estos. Consta de tres momentos. En los primeros, se presentan evidencias que relacionan a los seres humanos con los simios actuales. Posteriormente plantea a los estudiantes la comparación entre una parte de la secuencia de ADN que codifica la hemoglobina de humanos, chimpancés (*Pan troglodytes*), gorilas (*Gorilla gorilla*) y un ancestro común. Sobre la base de esta evidencia se pide a los estudiantes que completen la rama de un árbol filogenético que se presenta a la clase.

Durante el desarrollo de esta actividad se hicieron observaciones. Los investigadores no intervinieron en la clase que estuvo bajo control total de la profesora. Se tomaron notas de campo y se grabaron las sesiones. Para la interpretación de los datos se buscaron patrones generales para distinguir diferentes niveles de habilidad en la representación e interpretación de árboles filogenéticos. Se utilizaron transcripciones de las grabaciones de la clase, notas de campo y notas de observación y documentos de análisis de datos. Se utilizó un enfoque inductivo para identificar las explicaciones y los argumentos que los estudiantes crearon. Se codificaron los perfiles para identificar el tipo de aproximación (Halverson, 2011) utilizada por los estudiantes al interpretar, comparar y construir representaciones de árboles filogenéticos. Los resultados se interpretaron de acuerdo con los niveles de lectura propuestos por Halverson y Friedrichsen (2013) y las habilidades de lectura y construcción propuestas por este mismo autor (Halverson, 2011).

Resultados

Una visualización interpretativa es el acto de darle sentido un objeto (Braga et al., 2012), que en este caso fue el árbol filogenético. De acuerdo con los datos recabados, es posible afirmar que los estudiantes lograron darle sentido a la representación de los árboles, aunque de manera parcial. Ellos trataron de comprender sus códigos y de proponer maneras de presentar las relaciones que consideraban adecuadas en el marco de la actividad propuesta. Si bien presentaron errores en la interpretación de las convenciones implícitas, en términos generales lograron darle sentido al diagrama. Investigaciones precedentes han denotado que una interpretación efectiva de la representación requiere el conocimiento de las convenciones usadas y un entendimiento básico de conceptos asociados con ésta (Braga et al., 2012). Esto concuerda con los resultados obtenidos en

este estudio. Particularmente, se encuentra que dos conceptos clave debe ser explicados previamente: el de especie y el de población biológica.

Estos dos conceptos son importantes porque se encontró que en determinados momentos impiden la comprensión de la representación. Esto se evidencia, por ejemplo, cuando los estudiantes afirman que no pueden entender que una especie de origen a dos especies, denotando que no comprenden que las especies se dividen en poblaciones y que esto hace posible que cada una de ellas de origen a especies distintas.

Por otra parte, a partir del análisis de los diagramas que los estudiantes construyeron, de sus discursos explicativos y sus argumentos, consideramos que, a la luz de las categorías propuestas por Halverson y Friedrichsen (2013) sobre los niveles de competencia representacional, ellos se mueven entre los niveles dos (uso superficial de la representación) y cinco (uso conceptual de la representación) de competencia representacional. A continuación, se muestran las representaciones y sus análisis de acuerdo con los niveles de competencia representacional encontrados.

Uso superficial de la representación. Nivel 2

Ante la tarea propuesta a los estudiantes de construir un árbol filogenético que representara las características de los primates y los humanos, ellos plantearon una representación realista de un árbol. De acuerdo con ella, el árbol posee raíz, tronco y ramas ascendentes. En este esquema se supone que aquello que se encuentra más abajo representa lo más antiguo (las raíces). Por ende, al representar las relaciones evolutivas entre un ancestro común (A), un gorila (G), un chimpancé (C) y un humano (H); se dispone al ancestro común en la parte radicular del árbol, al gorila en el tronco como una representación de transición, el chimpancé en la parte basal de una rama principal y el humano en las ramas periféricas del árbol (Figura 3). Con respecto a esta representación uno de los estudiantes afirma:

... Pues yo hice un árbol así común, y pues en la raíz puse el ancestro porque es como lo más antiguo, el gorila sigue y luego el chimpancé más arriba y el humano porque es como lo más desarrollado.

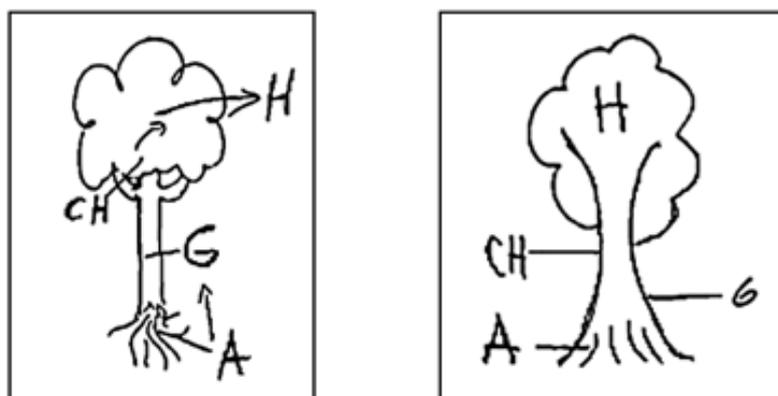


Figura 4. Uso superficial de la representación

Uso simplificado de la representación. Nivel 3

Ante el cuestionamiento de la profesora sobre si los diagramas propuestos representan adecuadamente la relación que existe entre el gorila, el chimpancé y el humano, algunos estudiantes proponen una manera diferente de representar una relación directa entre gorila y chimpancé. En este caso proponen que los seres humanos resultan de una hibridación entre las especies del gorila (G) y el chimpancé (C) (Figura 5). La forma en que se elabora este esquema pretende explicar que el origen de una especie (humano), ocurre por la relación (apareamiento / cruce) entre dos especies más (chimpancé y gorila).

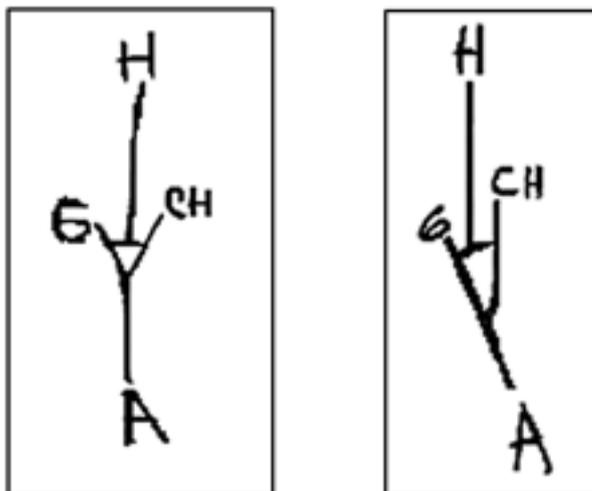


Figura 5. Uso simbólico de la representación.

En el siguiente fragmento de un diálogo se expresa la idea subyacente al esquema presentado:

Estudiante 1: "... de ese [ancestro común] sale el gorila y del gorila de alguna forma sale el chimpancé... Y después de esos dos sale el humano... "

Profesora: "¿De la mezcla de los dos?"

Estudiante 2: "Si algo así..."

Estudiante 3: "De la relación de esos dos"

Uso simbólico de la representación. Nivel 4

En este nivel se hace uso de un esquema a manera de árbol evolutivo usando las características de relaciones entre organismos planteando un ancestro común para las tres especies (Chimpancé, Gorila y Humano), proponiendo un mayor nivel de relación evolutiva entre los dos primeros. En los discursos explicativos se evidencia un proceso de transformación de una especie en otra, planteando el gorila como el ancestro común del chimpancé y el humano. Uno de los estudiantes explica este esquema de la siguiente manera:

"Porque digamos que del ancestro común sale el gorila y del gorila también sale el chimpancé y el humano... sí, pues por las relaciones, tenemos una línea hacia el gorila y el chimpancé y otra para el humano".

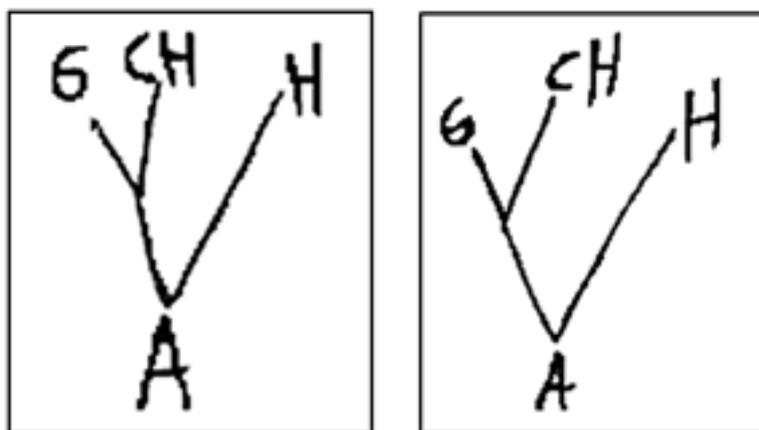


Figura 6. Uso simplificado de la representación.

En este caso los estudiantes establecen diferencias entre los dos diagramas de la Figura 4. Ellos consideran que el hecho de que en el diagrama del lado derecho no sigue una línea recta entre el ancestro común (A) y el gorila (G), mientras que el del lado izquierdo si lo hace, es una gran diferencia en las relaciones evolutivas presentadas. Es decir, los estudiantes asumen que la alteración de la forma de la rama (recta, doblada o curva) altera las relaciones que se están representando. Este es un error frecuente entre quienes se acercan al uso de los árboles (Baum et al., 2005; Halverson, 2011; Halverson et al., 2011).

Uso conceptual de la representación. Nivel 5

La actividad propuesta a los estudiantes se basaba en la comparación entre fragmentos de la cadena que codifica para la proteína de la hemoglobina para cada una de las especies en cuestión. A pesar de ello, los estudiantes no se basan en tal evidencia para, a partir de ella, elaborar los diagramas. Ellos plantean sus esquemas a partir de ideas basadas en apreciaciones morfológicas pero que pierden de vista la evidencia aportada en la actividad (Figura 6). En ese sentido, el diálogo entre la docente y un estudiante se desarrolló de la siguiente manera:

Estudiante: - Los pies de ellos sirven para coger y agarrarse, los de nosotros no. En cambio, lo que sirve para nosotros agarrarnos son nuestras manos.

Profesora:- ¿Qué otra diferencia había?

Estudiante: - También había en uno que las piernas eran más largas que los brazos y en el otro los brazos son más largos y las piernas son más cortas. Pues obviamente porque, pues digamos el entorno donde ellos viven.

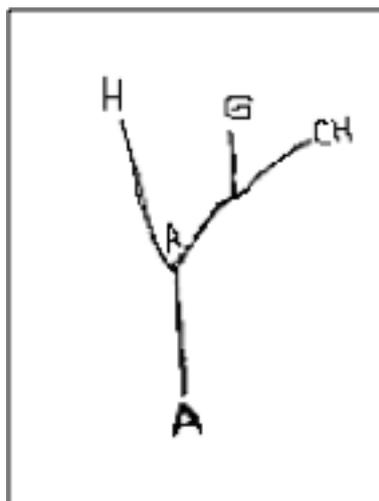


Figura 7. Uso conceptual de la representación.

Por otra parte, algunos estudiantes plantean árboles que denotan una jerarquización de las especies (Figura 7). En este caso el ser humano es ubicado delante de otras especies denotando probablemente que tiene rasgos más evolucionados que ellas. En este caso el error se relaciona con una concepción del proceso evolutivo en que es visto como un proceso direccional y tendiente a la complejidad. Por esto, se ubica al ser humano en la parte más alta (Dees et al. 2014).

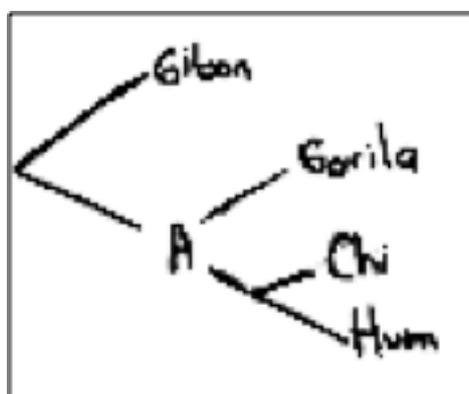


Figura 8. Organización jerárquica de las especies.

Los estudiantes plantean otros esquemas que se ubican en este nivel representacional pero no logran plantear distinciones entre ellos sobre la base de la evidencia aportada en la actividad ni apropiando correctamente las convenciones propias de los árboles filogenéticos (Figura 8).

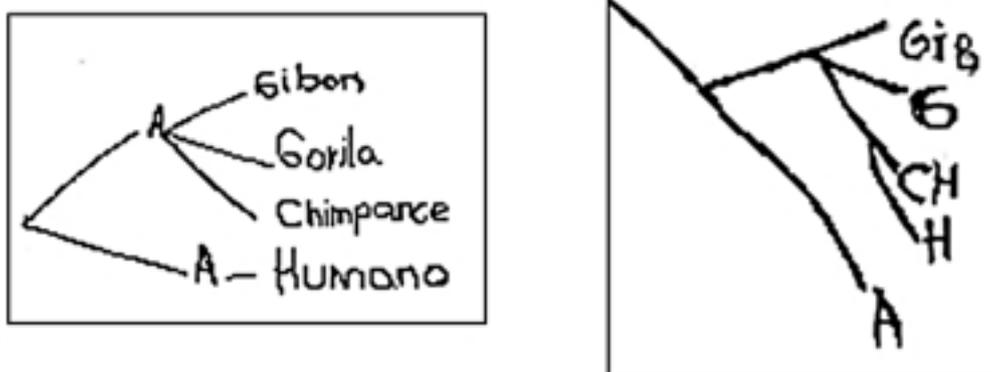


Figura 9. Otras propuestas de árboles que hacen un uso conceptual de la representación.

Discusión

Los resultados de esta experiencia demuestran, de muchas formas, la importancia de un adecuado abordaje del pensamiento en árbol dentro del proceso de enseñanza de la evolución. Como señalan diversos trabajos de investigación (Ainsworth & Saffer, 2013; Dees et al., 2014; Halverson, 2011; Halverson & Fredrichsen, 2013), el desarrollo de las habilidades necesarias para lograr el pensamiento en árbol requiere de un proceso intencionado y organizado que forme a los estudiantes para usar las representaciones visuales propias de la biología.

La lectura y construcción correctas de los árboles filogenéticos tienen relación con ciertos obstáculos inherentes al aprendizaje de la evolución biológica (González, Adúriz & Meinardi, 2005). Uno de los obstáculos se relaciona con la concepción esencialista, que asume que son los individuos los que cambian a través del tiempo dando lugar a nuevas formas “mejoradas”, esto, lleva al desarrollo de un pensamiento caracterizado por un discurso que hace alusión a la ortogénesis e ideas lamarckianas de progreso en el proceso evolutivo (Halverson y Fredrichsen, 2013, p 187). Esto se evidenció en algunas de las representaciones de los estudiantes en las que subyace tal concepción.

Los resultados indican también que, para aquellos con conocimientos mínimos en biología, la combinación de un conocimiento biológico inestable (mutable) y el uso de un diagrama poco familiar, lleva a un pobre entendimiento de la macroevolución (Phillips, et al. 2010.). Esto se hizo evidente cuando los estudiantes tratan de explicar el origen del ser humano como producto del cruce entre dos especies. Por una parte, ello evidencia una comprensión equivocada sobre la posibilidad de reproducción entre especies. De otro lado, dado que ellos probablemente están más familiarizados con los árboles genealógicos, tratan de hacer uso de convenciones propias de esta representación para dar una solución al problema planteado con los árboles filogenéticos. En tal sentido, esta investigación sugiere que los conceptos de “especie” y “población biológica” son muy importantes para desarrollar previamente y durante el curso de la enseñanza de los árboles filogenéticos.

Una comprensión inadecuada de ellos conlleva dificultades para leer y construir árboles.

Halverson (2011) sostiene que las habilidades de lectura se desarrollan antes que las habilidades asociadas con la construcción de árboles filogenéticos. Los resultados de este estudio se ajustan a tal aseveración. Luego de un proceso de discusión, los estudiantes logran reconocer y comprender las partes de los árboles y algunos lanzan conjeturas apropiadas sobre los árboles propuestos. En general, puede afirmarse que hacen una lectura básica de los árboles, aunque no logran apoyarse en la evidencia suministrada para interpretarlos. Es decir, comprenden las convenciones asociadas con la representación, pero no logran soportarse en las evidencias para apoyar sus afirmaciones o plantear predicciones.

Mayores dificultades se encuentran en relación con el desarrollo de habilidades de construcción de los árboles. Así, en la mayoría de sus representaciones, los estudiantes colocan al humano en rama separada dando a entender que no existe ninguna relación con el chimpancé o el gorila. Esto ocurre a pesar de haber visto las similitudes genéticas en las secuencias de la hemoglobina de las tres especies. Es decir, ellos no logran diferenciar la evidencia y usarla en la representación. En conclusión, no hay un desarrollo de las habilidades que Halverson (2011) refiere como propias de la construcción de los árboles filogenéticos.

Las observaciones e interpretaciones hechas en esta investigación permiten afirmar que los estudiantes participantes están en la capacidad de desarrollar el pensamiento en árbol y construir relaciones evolutivas, después de un abordaje aproximativo a la interpretación y construcción de los mismos (Ainsworth & Saffer, 2013, p. 237). Sin embargo, usar la representación visual de los árboles evolutivos requiere de cierta preparación que permitan superar las dificultades que se han venido documentando. Se requiere de estudios empíricos que contribuyan a comprender mejor los procesos de enseñanza y aprendizaje de los árboles filogenéticos en la enseñanza secundaria.

Implicaciones, limitaciones y perspectivas

El objetivo de este trabajo fue hacer una aproximación al desarrollo de las capacidades interpretativas de árboles evolutivos en estudiantes de enseñanza secundaria ya que los estudios para este nivel de escolaridad son escasos. El tamaño de la población incluida y el tiempo dedicado en el aula a los árboles filogenéticos implican limitaciones en las generalizaciones que puedan hacerse sobre el uso de tales representaciones por parte de estudiantes de educación media. Sin embargo, este estudio evidencia que los errores, habilidades, aproximaciones y niveles de representación elaborados para otros niveles de escolaridad, probablemente pueden ser referentes adecuados para la enseñanza media.

La formación del profesorado es una pieza clave a la hora de abordar temáticas y conceptos que lleven a mejorar el proceso de interpretación y construcción de árboles con base en evidencias. Es recomendable que los profesores conozcan las dificultades asociadas con el uso de las representaciones visuales, en este caso de los árboles. Este posibilita, por ejemplo, que aborden conceptos básicos previos al trabajo de interpretación y construcción de árboles evolutivos.

REFERENCIAS

- Ainsworth, S. y Saffer, J. (2013). Can children read evolutionary trees? *Merrill-Palmer Quarterly*, 59 (2): 221-247.
- Asimov, I. (1983). *Enciclopedia biográfica de ciencia y tecnología*. Madrid: Alianza.
- Baum, D.; Smith, S. y Donovan, S. (2005). The tree-thinking challenge. *Science*, 310: 979–980.
- Baum, D. y Smith, S. (2013). *Tree Thinking: An introduction to phylogenetic biology*. Greenwood Village, USA: Roberts and Company Publishers Inc.
- Braga, J.; Philips, L. y Norris, S. (2012). Visualizations and visualization in science education. En: Norris, S. (ed.). *Reading for evidence and interpreting visualization in mathematics and science education*. (pp. 123-146). Rotterdam: Sense Publishers.
- Dees, J.; Momsen, J.; Niemi, J. y Montplaisir, L. (2014). Student interpretations of phylogenetic trees in an introductory biology course. *CBE—Life Sciences Education*, 13: 666 – 676.
- Eilam, B. y Gilbert, J. (2014). The Significance of Visual Representations in the teaching of science. En: Eilam, B. y Gilbert, J. (eds.). *Science Teachers' use of Visual Representations* (pp. 3 – 28). Dordrecht Heidelberg: Springer.
- Gilbert, J. (2010). The role of visual representations in the learning and teaching of science: An Introduction. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 11(1): 1-19.
- González, L.; Adúriz Bravo, A. y Meinardi, E. (2005). El modelo cognitivo de ciencia y los obstáculos en el aprendizaje de la evolución biológica. *Enseñanza de las ciencias, Número extra. VII Congreso de Enseñanza de las Ciencias*: 1-6.
- Gould, S.J. (2010). Desde Darwin. *Reflexiones sobre historia natural*. Barcelona: Editorial Crítica.
- Gould, S.J. (1999). *La montaña de almejas de Leonardo. Ensayos sobre historia natural*. Barcelona: Editorial Crítica.
- Halverson, K. y Friedrichsen, P. (2013). Learning Tree Thinking: Developing a New Framework of Representational Competence. In: Treagust, D y Tsui, C, Y. *Multiple Representations in Biological Education*. (pp. 185-201) Dordrecht Heidelberg New York- London: Springer.
- Halverson, K. (2011). *Improving Tree-Thinking One Learnable Skill at a Time. Evolution: Education and Outreach*, 4: 95–106.
- Halverson, K.; Pires, C. y Abell, S. (2011). Exploring the complexity of Tree Thinking Expertise in an Undergraduated Systematics Course. *Science Education*, 95(5): 794-823.
- Kastens, K. y Liben, L. (2007). Eliciting Self-Explanations Improves Children's Performance on a Field-Based Map Skills Task. *Cognition and Instruction*, 25(1): 45–74.
- Kozma, R. y Russell, J. (2005). Modelling students becoming chemists: developing representational competence. En: Gilbert, J.K. (ed.). *Visualization in science education*. (pp. 121–145). Dordrecht: Springer.
- Liu, Y.; Won, M. y Treagust, D. (2014). Secondary Biology Teachers' use of different types of diagrams for different purpose. En: Eilam, B. y Gilbert, J. (eds.). *Science Teachers' use of Visual Representations* (pp. 103 – 121). Dordrecht: Springer.
- Philips, B.; Novick, L. y Catley, K. (2010). How high school students reason about the tree of

life: A developmental perspective. En: Goldman, S.R.; Pellegrino, J.; Gomez, K.; Lyons, L. y Radinsky, J. (Eds.), *Learning in the disciplines: Proceedings of the 9th international conference of the learning sciences* (Vol. 2, pp. 221–222). Chicago: International Society of the Learning Sciences.

Vavra, K.; Janjic-Watrich, V.; Loerke, K.; Phillips, L.; Norris, S. y Macna, J. (2011). Visualization in Science Education. *Alberta Science Education Journal*, 41(1): 22-30.