





Fotografía
Lina Marcela Almaciga Camargo

IDENTIFICACIÓN DE HABILIDADES DE LECTURA E INTERPRETACIÓN DE ÁRBOLES FILOGENÉTICOS CON DOCENTES DE BIOLOGÍA EN FORMACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Identification of Reading and Interpretation Skills of Phylogenetic Trees in Biology Teachers in Training at the Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Identificação de habilidades de leitura e interpretação de árvores filogenéticas em professores de biologia em formação na Universidade Distrital Francisco José de Caldas

Laura Catalina Niño-Sarmiento* 
 David Alejandro Guerrero-Pérez** 
 Heidy Tatiana Gómez-Cuadrado*** 
 Leyla Andrea Garcia-Reinel**** 

Fecha de recepción: 19 de septiembre de 2023
 Fecha de aprobación: 08 de mayo de 2024

Cómo citar

Niño-Sarmiento, L. C., Guerrero-Pérez, D. A., Gómez-Cuadrado, H. T. y Garcia-Reinel, L. A. (2024). Identificación de habilidades de lectura e interpretación de árboles filogenéticos con docentes de Biología en formación de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, *Bio-grafía*, 17(33), 129-143. <https://doi.org/10.17227/bio-grafia.vol.17.num33-21789>

* Estudiante Universidad Distrital Francisco José de Caldas. lcninos@udistrital.edu.co

** Estudiante Universidad Distrital Francisco José de Caldas. daaguerrerop@udistrital.edu.co

*** Estudiante Universidad Distrital Francisco José de Caldas. htgomezc@udistrital.edu.co

**** Estudiante Universidad Distrital Francisco José de Caldas. leagarcia@udistrital.edu.co

Resumen

El uso de modelos visuales en la enseñanza de la biología es fundamental para aproximar conceptos abstractos que implican procesos cognitivos complejos a la realidad del estudiante; sin embargo, los docentes en formación presentan dificultades para leer e interpretar dichas representaciones y, por ende, incapacidad de usarlas para enseñar. Por consiguiente, se propone la identificación de habilidades de lectura e interpretación presentes en estos, por medio de observación directa para el análisis y categorización de sus razonamientos y habilidades en la resolución de problemas filogenéticos mediante un instrumento de recolección de datos ampliamente usado y analizado por otros autores, categorizando el nivel que tienen los estudiantes según el número de habilidades presentadas en comparación con el docente. Principalmente, los estudiantes demostraron incapacidad para identificar linajes e identificar hipótesis incorrectas basadas en la información proporcionada. Por otro lado, prevalecieron los razonamientos influenciados y filogenéticos en esta población. Por lo tanto, se presume, los estudiantes tienen dificultades para leer y comprender árboles filogenéticos. Es esencial continuar abordando el tema y encontrar formas de subsanar estos vacíos conceptuales en la capacitación de los futuros docentes de biología del país, ya que más del 50 % de los estudiantes están en el nivel intermedio y solo un 20 % demuestra competencia completa.

Palabras clave: docentes en formación; modelo evolutivo; sistemática; *tree thinking*

Abstract

The use of visual models in biology teaching is essential for bringing abstract concepts, which involve complex cognitive processes, closer to the student's reality. However, teachers in training face difficulties in reading and interpreting these representations, and consequently, are unable to use them for teaching. Therefore, this study proposes identifying the reading and interpretation skills present in these teachers through direct observation to analyze and categorize their reasoning and skills in solving phylogenetic problems through a widely used and analyzed data collection instrument. The study categorizes the level of students according to the number of skills presented compared to the teacher. Primarily, students demonstrated an inability to identify lineages and identify incorrect hypotheses based on the information provided. On the other hand, phylogenetic and influenced reasoning prevailed in this population. Therefore, it is assumed that students have difficulties in reading and understanding phylogenetic trees. It is essential to continue addressing this issue and find ways to bridge these conceptual gaps in the training of future biology teachers in the country, as more than 50% of students are at the intermediate level and only 20% demonstrate full competence.

Keywords: teachers in training; evolutionary model; systematics; *tree thinking*

Resumo

O uso de modelos visuais no ensino de biologia é fundamental para aproximar conceitos abstratos, que envolvem processos cognitivos complexos, da realidade do estudante. No entanto, os professores em formação enfrentam dificuldades para ler e interpretar essas representações e, conseqüentemente, são incapazes de usá-las para o ensino. Portanto, propõe-se a identificação das habilidades de leitura e interpretação presentes nesses professores por meio de observação direta para analisar e categorizar seus raciocínios e habilidades na resolução de problemas filogenéticos, utilizando um instrumento de coleta de dados amplamente utilizado e analisado por outros autores. O estudo categoriza o nível dos alunos de acordo com o número de habilidades apresentadas em comparação com o professor. Principalmente, os alunos demonstraram incapacidade de identificar linhagens e hipóteses incorretas com base nas informações fornecidas. Por outro lado, prevaleceram os raciocínios influenciados e filogenéticos nesta população. Portanto, presume-se que os alunos têm dificuldades para ler e compreender árvores filogenéticas. É essencial continuar abordando esse tema e encontrar formas de preencher essas lacunas conceituais na formação dos futuros professores de biologia do país, já que mais de 50% dos alunos estão em nível intermediário e apenas 20% demonstram competência completa.

Palavras-chave: professores em formação; modelo evolutivo; sistemática; *tree thinking*



Introducción

En el campo de la enseñanza de las ciencias se reconoce la importancia de las representaciones visuales y la efectividad de estas sobre los modos verbales (Gilbert, 2010), a tal punto que los profesores de educación superior han incorporado árboles filogenéticos en el plan de estudios de biología para promover el aprendizaje conceptual de los principios evolutivos (Novick y Cately, 2000). Esto ha generado un puente entre la teoría científica y el mundo natural, mediante imágenes simplificadas a las que se les aplica una teoría abstracta comparable con la observación de fenómenos del mundo natural esenciales para la comprensión (Treagust y Tsui, 2013). Estos árboles filogenéticos se usan para explicar la continuidad de la vida: los seres vivos comparten material genético como huellas moleculares para conocer los cambios que han ocurrido en el pasado, los científicos estudian cómo los organismos han evolucionado a través del uso de secuencias de ADN y proteínas, con el fin de conocer cómo interactúan los genes, y determinan las relaciones evolutivas de las formas del pasado y las contemporáneas (García, 2011). Antes de la llegada de las tecnologías de secuenciación de ADN, los árboles filogenéticos se utilizaban casi exclusivamente para describir relaciones entre especies; sin embargo, hace algún tiempo, la filogenia molecular se ha convertido en una herramienta indispensable para las comparaciones de genoma (Yang y Rannala, 2012). En la actualidad, la filogenia molecular es uno de los campos más dinámicos y ricos de la biología; no obstante, la creciente sofisticación de las técnicas revela la existencia de un número importante de métodos estructurales y computacionales que podrían dar diferentes respuestas a un mismo enunciado. Por ejemplo, no es lo mismo una filogenia construida por metodología de máxima parsimonia, que una construida por máxima verosimilitud (Moreira y Philippe, 2000). Aun así, ambas podrían converger y generar conclusiones más robustas.

Estas representaciones no están exentas de interpretaciones erróneas, ya que el lector puede estar influenciado por el contexto y las concepciones previas (Alters y Nelson, 2002). Según Halverson y Fredrichsen (2013), el uso de conocimiento científico previo interfiere en la interpretación de árboles filogenéticos, al igual que el pensamiento progresista lineal y no ramificado de la evolución presente en el pensamiento colectivo, lo cual puede ocasionar dificultades en estudiantes de diferentes niveles académicos con respecto al *tree-thinking*. Además, Dees *et al.* (2014) señala que uno de los errores comunes en la interpretación de los árboles filogenéticos es no reconocer correctamente los eventos de divergencia entre grupos de individuos, lo que significa

separar la deriva evolutiva de un grupo de individuos sin reflejar adecuadamente este proceso en las ramas del árbol. Además, es habitual que los estudiantes ignoren la evidencia filogenética y, en su lugar, den mayor importancia a características superficiales, como la apariencia física, lo cual conduce a interpretaciones incorrectas. Por otro lado, Peñaloza y Robles-Pineros (2016) plantean una dificultad en cuanto a la interiorización de un modelo abstracto que a priori resulta contraintuitivo. Los estudiantes suelen interpretar el modelo basándose en aspectos superficiales, lo que reduce la importancia de las convenciones del árbol y de la información filogenética. Está claro que la mayoría de los estudiantes no interpretan los árboles de la misma manera que los biólogos evolutivos (Baum *et al.*, 2005; Gregory, 2008; Meir *et al.*, 2007), teniendo en cuenta que así como todo geógrafo necesita saber leer un mapa, todo biólogo necesita saber leer un árbol evolutivo o árbol filogenético (O'Hara, 1998). Con base en Kozma y Rusell (2005), quienes plantean la necesidad de reconocer para poder leer y después construir este tipo de modelos, se habla de categorización de habilidades asociadas a la lectura en orden creciente de experticia. En este sentido, la formación del profesorado es pieza clave al abordar temáticas y conceptos para mejorar habilidades de lectura, interpretación y construcción de árboles, con base en evidencias, ya que dichas representaciones mejoran el aprendizaje de los textos, la resolución de problemas y facilitan las relaciones entre los nuevos conocimientos y los previos (Cook, citado en Treagust y Tsui, 2013). No obstante, aunque este es un tema central en la biología, poco se sabe sobre cómo los estudiantes entienden, utilizan y aprenden con estas representaciones, ya que pocos estudios se han centrado en las habilidades de lectura, interpretación y construcción que priman en los estudiantes o cómo los conceptos erróneos interfieren con los enfoques de resolución de problemas (Halverson *et al.*, 2011). Por lo anterior, se realiza el presente trabajo, el cual se centra en la lectura e interpretación de árboles filogenéticos, con el objetivo de identificar las habilidades que muestran los docentes de biología en formación, en adelante DBF, de la Universidad Distrital, en cuanto a la resolución de problemas filogenéticos. Por medio de un estudio empírico, basado en la obtención de evidencia verificable mediante la observación directa e indirecta de las estrategias de los DBF, se pretende reconocer las dificultades asociadas al uso de las representaciones visuales –en este caso, de los árboles filogenéticos– y brindar un punto de partida para ampliar el panorama de cómo abordar la enseñanza de la evolución por medio de representaciones gráficas y modelos visuales, no solo en la formación de docentes, sino en diferentes niveles académicos.

Metodología

Se llevó a cabo un estudio empírico, que se basó en la obtención de evidencia verificable mediante la observación directa e indirecta de las estrategias de los DBF durante el desarrollo de las diferentes actividades que se planteaban. También, se utilizó un enfoque mixto secuenciado para el análisis de datos, ya que, según Oliveira Magalhães y Batista (2021), el método mixto permite un análisis más completo de la información. Esta investigación consta de cuatro fases.

Fase 1: selección de participantes y recopilación de datos

En esta fase se selecciona una muestra de 44 estudiantes y el docente a cargo del curso. La población fue de semestres superiores a quinto, en el cual ya se cuenta con cierto nivel de experticia en árboles filogenéticos, al haber cursado asignaturas obligatorias, como zoología de invertebrados, zoología de vertebrados, botánica 1, botánica 2 y sistemática. La intervención fue llevada a cabo con estudiantes que cursaron la electiva de ecología evolutiva en la Universidad Distrital, sede macarena, una institución educativa pública de Bogotá-Colombia. Se realizó una indagación de las habilidades de lectura e interpretación de árboles filogenéticos, con el fin de identificar las áreas de dificultad de los estudiantes. Para la obtención de datos, se aplicó un cuestionario modificado (anexo A), de Halverson *et al.* (2011), de preguntas abiertas y preguntas de opción múltiple. Teniendo en cuenta la protección de datos y la confidencialidad, se les informó a los participantes que las respuestas serían manejadas de manera anónima y que sus datos personales no serían de dominio público, con el fin de proteger su privacidad. Este cuestionario permitió evaluar las ideas de los DBF, en relación con aspectos como filogenia, evolución y resolución de problemas, y les permitió explicar su razonamiento en las preguntas abiertas. Luego de realizar el cuestionario y de obtener los datos, estos facilitaron identificar los temas de las respuestas y sus líneas argumentativas, así como evaluar patrones de conocimiento. Con esto, se logra el reconocimiento de las habilidades presentadas en la tabla 1 (anexo B), que fueron categorizadas por medio de la codificación

de perfiles y la instauración de categorías propuestas por los autores, presentadas en la fase 4, en la que se agrupan las habilidades de los estudiantes con respecto a las habilidades del profesor (novato-experto).

Fase 2: análisis de datos

En esta fase se realizó un análisis de datos con enfoque mixto secuenciado y se construyó un perfil del estudiante, con base en las ideas preexistentes que se obtuvieron mediante su explicación de las preguntas abiertas sobre aspectos como filogenia y evolución, además de las estrategias de resolución de problemas que implementan los DBF para dar solución al cuestionario propuesto (anexo A). Se establece un total de trece (13) habilidades que se identifican en el profesor a cargo del curso. En comparación con las respuestas del profesor y de las explicaciones que él mismo da a sus respuestas, se comparan tanto las respuestas como las explicaciones de cada DBF, y se identifica qué habilidades presenta y en cuales se observan más falencias.

Fase 3: identificación de áreas de dificultad

Se prestó especial atención a aspectos críticos, como la construcción de árboles filogenéticos, la identificación de agrupaciones en la representación gráfica (grupos monofiléticos, parafiléticos, etc.), la aplicación de conceptos básicos de sistemática y filogenia (mutación, selección natural, flujo génico, etc.). Esto permite destacar zonas específicas que proporcionen una comprensión detallada de las dificultades que se puedan presentar.

Fase 4: categorización de habilidades

Con base en la información recogida de la fase 3, y en la planteada por Halverson *et al.* (2011) y Peñaloza y Robles-Pineros (2016), se codificaron perfiles detallados, basados en la información detallada en la tabla 2, tabla 3 y en los resultados de los estudiantes, y se establecieron categorías en función de la cantidad de habilidades que presentan los DBF, según el análisis de sus respuestas y los razonamientos que utilizaron para explicarlas.

Tabla 1. Habilidades determinadas propuestas que han de poseer los DBF.

HABILIDADES DETERMINADAS			
Habilidad 1	Utiliza la representación (árbol filogenético) para explicar o entender un escenario filogenético.	Habilidad 8	Es capaz de inferir una filogenia con base en información filogenética parcial, seleccionando la mejor estimación de una historia evolutiva (principio de parsimonia).
Habilidad 2	Es capaz de conectar los significados básicos de las relaciones ilustradas cuando comparan los árboles filogenéticos.	Habilidad 9	Identifica y explica por qué o cómo una representación es más apropiada que otra.
Habilidad 3	Comprende los elementos simbólicos del árbol. Es decir, la función de los nodos, las ramas y las relaciones.	Habilidad 10	Es capaz de rechazar o aceptar hipótesis correctamente influenciado por las representaciones.
Habilidad 4	Reconoce que la forma del árbol no necesariamente representa unas relaciones diferentes, sino que puede representar las mismas relaciones.	Habilidad 11	Interpreta los árboles filogenéticos en función de cómo ilustran la historia evolutiva.
Habilidad 5	Interpreta científicamente las relaciones ilustradas dentro de la topología del árbol con base en la ancestralidad común.	Habilidad 12	Interpreta patrones de las representaciones utilizando un enfoque que consiste en mapear la descendencia común para identificar al ancestro en común más reciente.
Habilidad 6	Identifica los patrones monofiléticos y las apomorfías implícitas que separan los taxones.	Habilidad 13	Es capaz de identificar los principales linajes indicando su clasificación y el significado de los principales cambios evolutivos.
Habilidad 7	Es capaz de utilizar y construir múltiples representaciones para resolver problemas filogenéticos.		

Fuente: datos adaptados de *Exploring the complexity of tree thinking expertise in an undergraduate systematics course* (Halverson et al., 2011).

Tabla 2. Razonamientos utilizados por los DBF.

RAZONAMIENTOS UTILIZADOS EN LA RESOLUCIÓN DEL CUESTIONARIO			
Extraño	Este tipo de razonamiento se caracteriza en que el individuo usa fundamentos conceptuales inexactos, no son capaces de producir respuestas científicamente aceptadas, así mismo de describir similitudes entre relaciones y desarrollar árboles a partir de datos brindados.	Rama influenciada	El tipo de representación influye en la representación, no identifica que los árboles filogenéticos pueden girar.
Ecológico	El individuo representa ideas incorrectas de la influencia de los atributos geográficos en la relación de las especies. Hace referencia a atributos ecológicos como la ubicación geográfica, dificultad para incorporar información biogeográfica en problemas sistemáticos y simplifica el papel del medio ambiente en la especiación y la relación	Nodo influenciado	Se centra en el número de nodos entre taxones y árboles, identifica los nodos a partir de “una rama principal”.
Morfológico	Se caracteriza por la búsqueda de similitudes de apariencia físicas, eliminan la búsqueda de diferencias de estas e ignoran la evidencia genética, por lo que tienen en cuenta aspectos como “evolución convergente”.	Filogenético limitado	Usan razonamiento basado en conocimiento científico aceptado para explicar la respuesta, pero no llegan a su solución completa.
Filogenético	Interpreta y utiliza los árboles de la manera en que lo haría un biólogo evolutivo.		

Fuente: Datos adaptados de *Exploring the complexity of tree thinking expertise in an undergraduate systematics course* (Halverson et al., 2011).

Tabla 3. Categorías establecidas en función de la cantidad de habilidades presentes en los DBF.

CATEGORÍAS DETERMINADAS			
Nivel experto	En esta categoría se ubican los docentes en formación que presentan más de diez de las habilidades determinadas.	Nivel competente	En esta categoría se ubican los docentes en formación que presentan entre ocho y diez habilidades determinadas.
Nivel intermedio	En esta categoría se ubican los docentes en formación que presentan entre cuatro y siete habilidades determinadas.	Nivel insuficiente	En esta categoría se ubican los docentes en formación que presentan menos de cuatro de las habilidades determinadas.

Fuente: datos adaptados de *Exploring the complexity of tree thinking expertise in an undergraduate systematics course* (Halverson et al., 2011).

Resultados y análisis

Con el cuestionario, se obtuvieron respuestas de 44 DBF y del profesor del curso, las cuales se utilizaron como referencia para comparar los razonamientos y las habilidades de DBF con las de un experto. El maestro presentó trece (13) habilidades, que se dividieron en cuatro categorías, según las ideas de los estudiantes.

Habilidades y dificultades de DBF

Las habilidades y dificultades presentes se observan en la figura 2. Las falencias comunes son la identificación de linajes, por ejemplo, el DBF 22 (figura 1) toma intuitivamente concepciones de dominios diferentes del conocimiento, las aplica en sus pensamientos y llega a razonamientos explicativos erróneos, lo que representa transversalidad y conflicto. Esto coincide con el trabajo de Dinghi *et al.* (2020), aceptar y rechazar hipótesis de manera correcta, a partir de la información que brinda la representación. Por ejemplo, el estudiante 11 responde: “Un cocodrilo está emparentado con un lagarto, pero no con un pájaro, porque la relación filogenética del cocodrilo y el lagarto es más cercana”, priorizando la topografía del árbol para explicar la cercanía, en disonancia con el conocimiento científico aceptado, pues, según Quishpe y Blanca (2006), un ancestro es un organismo primitivo que ha dado lugar a un conjunto de especies. Así, tiene en cuenta las relaciones ancestro-descendiente y la historia natural de los individuos, característica que sí presenta el experto y que le permite aceptar hipótesis de manera correcta. Por otro lado, una de las habilidades comunes es comprender la función que tienen las con-

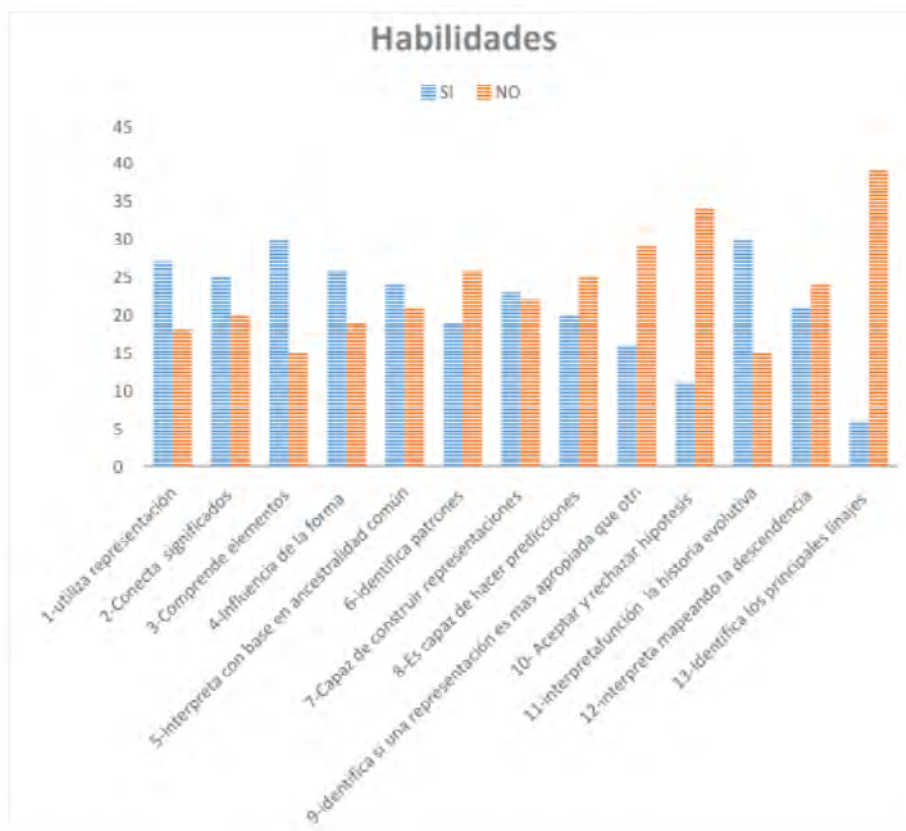
venciones del árbol filogenético. Aquí, el DBF 37 identifica que el nodo es donde cada rama se bifurca (Quishpe y Blanca, 2006), lo que representa divergencia e indica que comprende el significado de la convención del árbol. Otra de las habilidades comunes es la interpretación de las relaciones con base en la historia evolutiva y la capacidad de resolver problemas filogenéticos, en la cual el DBF 31 respondió: “Esto sirve para identificar las características compartidas de los individuos de manera que se facilite establecer relaciones que puedan dar cuenta de la historia compartida de los organismos”. Este basa su explicación de las relaciones de parentesco en la cladística y reconstruye una posible historia evolutiva, como plantean Castillo-Cerón y Goyenechea (2007).

Figura 1. Construcción de cladograma del DBF 22.



Fuente: elaboración propia a partir de los datos recolectados en el estudio.

Figura 2. Comparación de habilidades presentes y ausentes de los participantes.



Fuente: elaboración propia a partir de los datos recolectados en el estudio.

Razonamiento de los DBF

Los razonamientos más comunes son el de forma influenciada, como muestra la figura 3, que representa la relación razonamiento predominante-pregunta. Para ejemplificar, si se pide identificar cuál es el árbol filogenético que representa relaciones diferentes, los participantes muestran incapacidad para reconocer que, aunque el árbol está girado, representa las mismas relaciones filogenéticas, lo que evidencia que se dejan influenciar por la forma del árbol filogenético. En tal caso, el DBF 16 elige la forma de árbol con la que más se familiariza, ignorando la información filogenética que se brinda, lo que demuestra un uso de razonamiento explicativo erróneo de la realidad, según Dinghi *et al.* (2020), que resulta en un obstáculo de conflictividad del conocimiento para la enseñanza de la evolución. Otro razonamiento referente es el filogenético limitado, que se evidenció a menudo en las preguntas 1, 2, 3 y 7 (preguntas abiertas que, en comparación con

las del experto, resultaban incompletas). Por ejemplo, el DBF 17 describe: “El uso de caracteres fenotípicos y genotípicos permite que se dé una mayor certeza en el conocimiento de la especie, si pertenece a ese grupo en particular, conocer caracteres físicos, reconocer los genes que contribuyen o no con algo en específico”. Aunque llega a una conclusión científicamente aceptada, ignora la posible variación entre caracteres por procesos homoplásicos. Por su parte, uno de los razonamientos menos utilizados fue el ecológico, que inicialmente se esperaba fuese predominante, pues la población es un curso de ecología evolutiva. Según González (2018), la ecología filogenética se basa en la relación entre los caracteres ecológicos de los hábitats de las especies, y la filogenia molecular explica la adaptación a la variación ambiental en el tiempo y el espacio. Por su parte, previo y extraño se muestran en la figura 4, en la que se relaciona cada una de las preguntas del cuestionario con el razonamiento menos usado por los estudiantes para resolverlas.

Figura 3. Razonamientos más reiterados presentes en los participantes.



Fuente: elaboración propia a partir de los datos recolectados en el estudio.

Figura 4. Razonamientos menos reiterados presentes en los participantes.



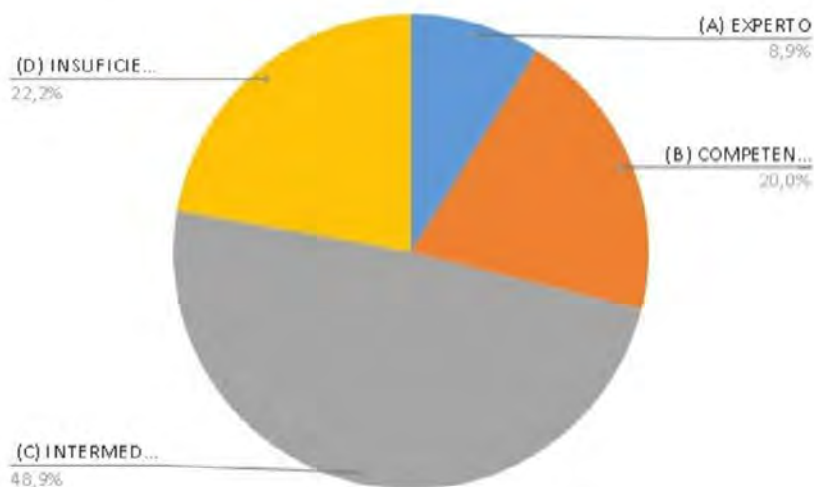
Fuente: elaboración propia a partir de los datos recolectados en el estudio.

Categorización de las concepciones de los docentes de biología en formación

Se determinó que los DBF presentan una cantidad de habilidades que los ubican en las categorías propuestas a partir de los siguientes porcentajes. El 48,9 % está en la

categoría intermedia, siendo el porcentaje más alto en la figura 5, mientras que el menor porcentaje está en la categoría experta. Sin embargo, los porcentajes intermedios e insuficientes superan el 20 % de los participantes, lo que indica que se necesitan habilidades en más del 20 % de los DBF para alcanzar la categoría experta.

Figura 5. Total de participantes ubicados en cada una de las categorías establecidas.



Fuente: elaboración propia a partir de los datos recolectados en el estudio.

Conclusiones

El 9 % de los estudiantes es capaz de comunicar el modelo de árbol filogenético claramente, un 20 % demostró ser competente en la comprensión de las dinámicas de la representación, el 49 % no presentó la mitad de las habilidades propuestas y un 22 % se ubicó en la categoría de insuficiencia al demostrar menos de cuatro habilidades propuestas. Cerca de $\frac{1}{4}$ de la población es capaz de construir y justificar la solución a problemas filogenéticos.

El estudio revela una serie de desafíos en la formación de docentes de biología en cuanto a la lectura e interpretación de árboles filogenéticos, así como dificultades para comprender y utilizar adecuadamente los árboles filogenéticos en el contexto educativo. Los DBF reconocen la representación en forma de árbol, identifican sus partes y abordan problemas con razonamiento filogenético limitado, en los que se tiene una solución incompleta, aunque aceptable, de problemas filogenéticos representacionales. Así mismo, interpretan los árboles en función de cómo los ilustran la historia evolutiva y pueden utilizar la representación para plantear escenarios filogenéticos, pero demuestran falencias de identificación de linajes y asociación de los principales cambios evolutivos, lo que dificulta la aceptación y el rechazo de hipótesis usando evidencias. Generalmente, la lectura de árboles filogenéticos está influenciada por la forma de la representación (razonamiento influenciado en los nodos) para solucionar problemas de tipo filogenético. En la escala de Harlerson (2011), la mayoría de DBF se encuentran en el nodo de lectura, ignorando el uso de

evidencias, y no alcanzan el nodo de construcción, ya que este requiere que el sujeto tenga la capacidad de presentar y justificar las relaciones evolutivas expuestas. La mayoría de los DBF están en la categoría intermedia, lo que indica que están progresando en sus habilidades filogenéticas. Sin embargo, un gran número está en un porcentaje insuficiente, el cual podría disminuir si se fomenta la implementación de estrategias más efectivas de enseñanza y aprendizaje que aborden específicamente las dificultades identificadas en este estudio. Esto podría implicar el desarrollo de enfoques pedagógicos innovadores, recursos educativos especializados y una mayor integración de la filogenia en el currículo de biología. Teniendo en cuenta la importancia de estas representaciones visuales en la enseñanza de la evolución, mejorar su comprensión, así como fomentar su uso entre los docentes en formación, no solo beneficiará la práctica pedagógica, sino que contribuirá a una educación más efectiva, que le ayude a las generaciones futuras de estudiantes a comprender mejor los principios fundamentales de la evolución y la diversidad biológica.

Referencias

- Alters, B. J. y Nelson, C. E. (2002). Perspective: Teaching evolution in higher education. *International Journal of Organic Evolution*, 56(10), 1891-1901. <https://doi.org/10.1111/j.0014-3820.2002.tb00115.x>
- Baum, D. A., Smith, S. D. y Donovan, S. S. S. (2005). The tree-thinking challenge. *Science*, 310(5750), 979-980. [10.1126/science.1117727](https://doi.org/10.1126/science.1117727)

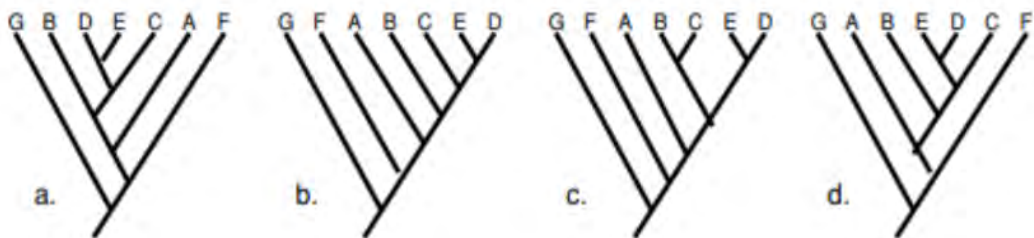
- Catley, K. M. y Novick, L. R. (2008). Seeing the wood for the trees: an analysis of evolutionary diagrams in biology textbooks. *BioScience*, 58(10), 976-987. <https://doi.org/10.1641/B581011>
- Castillo-Cerón, J. M. y Goyenechea, I. (2007). *Conceptos básicos en sistemática filogenética: los deuterostomados como ejemplo*. Amalgama Arte Editorial, S.A de C.V.
- 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(4), 666-676. <https://doi.org/10.1187/cbe.14-01-0003>
- Dinghi, P. A., Guzmán, N. V. y Monti, D. S. (2020). Jugando con Dragones: Una experiencia lúdica como introducción a los conceptos filogenéticos en la enseñanza de la biodiversidad. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 17(1), 120101-120116. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2020.v17.i1.1201
- García, L. F. (2011). Genes y evolución el delgado hilo que nos conecta por miles de millones de años. *Acta Biológica Colombiana*, 16(3), 71-87.
- Gilbert, J. K. (2010). The role of visual representations in the learning and teaching of science: An introduction. *Asia-Pacific Forum on Science Learning & Teaching*, 11(1), 2-19.
- González Treviño, A. (2018). *Ecología filogenética de los cangrejos violinistas del género UCA (Leach, 1814) en la Laguna Madre, Tamaulipas México* [Tesis de doctorado, Universidad Autónoma de Nuevo León]. Repositorio Institucional UANL. <http://eprints.uanl.mx/21783/>
- Gregory, T. R. (2008). Understanding evolutionary trees. *Evolution: Education and Outreach*, (1), 121-137.
- Halverson, K. y Friedrichsen, P. (2013). Learning Tree Thinking: Developing a New Framework of Representational Competence. En D. Treagust y C. Y. Tsui (Eds.), *Multiple Representations in Biological Education* (pp. 185-201). Springer.
- Halverson, K. L., Pires, C. J. y Abell, S. K. (2011). Exploring the complexity of tree thinking expertise in an undergraduate systematics course. *Science Education*, 95(5), 794-823.
- Kozma, R. y Russell, J. (2005). Modelling students becoming chemists: developing representational competence. En J. K. Gilbert (Ed.), *Visualization in science education* (pp. 121-145). Springer.
- Oliveira Magalhães, C. A. y Batista, M. (2021). *Metodologia da Pesquisa em Educação e Ensino de Ciências*. Atena. 10.22533/at.ed.790232604
- Meir, E., Perry, J., Herron, J. C. y Kingsolver, J. (2007). College students' misconceptions about evolutionary trees. *American Biology Teacher*, 69(7), 71-76. [https://doi.org/10.1662/0002-7685\(2007\)69\[71:CSMAET\]2.0.CO](https://doi.org/10.1662/0002-7685(2007)69[71:CSMAET]2.0.CO)
- Moreira, D. y Philippe, H. (2000). Molecular phylogeny: pitfalls and progress. *International Microbiology*, 3(1), 9-16.
- Novick, L. R. y Catley, K. M. (2000). Spatial diagrams: Key instruments in the toolbox for thought. En D. L. Medin (Ed.), *The Psychology of Learning and Motivation Vol. 40* (pp. 279-322). Academic Press.
- O'Hara, R. J. (1988). Diagrammatic classification of birds, 1819-1901: Views of the natural system in 19th century British ornithology. En H. Ouellet (Ed.), *Acta XIX Congressus Internationalis Ornithologici* (pp. 2746-2759). National Museum of Natural Sciences.
- Peñaloza, G. y Robles-Piñeros, J. (2016). El desafío del tree thinking: un análisis del uso de árboles evolutivos con estudiantes de educación secundaria. *Revista de Educación en Biología*, 19(1), 54-72. <https://doi.org/10.59524/2344-9225.v19.n1.22530>
- Quisphe, G. y Blanca, E. (2006). *Implementación y evaluación de heurísticas para construir árboles filogenéticos basados en matrices de distancias* [Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional]. BIB Digital. Escuela Politécnica Nacional. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/288>
- Treagust, D. F. y Tsui, C. Y. (Eds.). (2013). *Multiple Representations in Biological Education*. Springer.
- Yang, Z. y Rannala, B. (2012). Molecular phylogenetics: principles and practice. *Nature reviews genetics*, 13(5), 303-314. 10.1038/nrg3186

ANEXOS

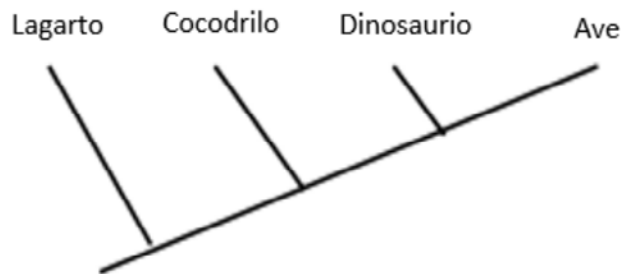
Anexo A

CUESTIONARIO

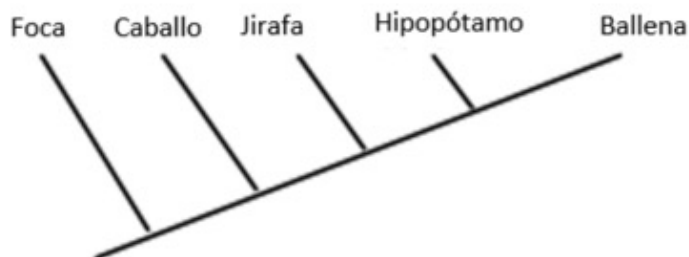
1. Explique por qué cree que nosotros, como científicos, tratamos de desarrollar sistemas que sitúen a los organismos en grupos relacionados.
2. Al investigar las relaciones entre organismos, describa cómo el uso de características físicas y características genéticas por separado podría ofrecer conclusiones similares o diferentes.
3. ¿Existen otras características, además de las mencionadas anteriormente, que sean necesarias para identificar organismos o especies? Si es así, describa estas características y cómo pueden ayudar con el proceso de identificación.
4. ¿Cuál de los siguientes cuatro árboles representa un patrón diferente de relaciones que los demás?



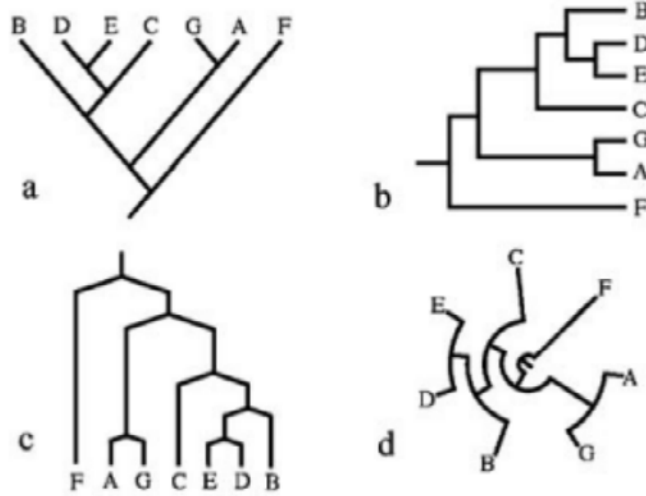
5. Usando la siguiente imagen, ¿cuál de las siguientes es una declaración precisa de las relaciones? Proporcione una explicación de por qué eligió su respuesta.
 - a. Un cocodrilo está más estrechamente relacionado con un lagarto que con un pájaro.
 - b. Un cocodrilo está más relacionado con un pájaro que con un lagarto.
 - c. Un cocodrilo está igualmente relacionado con un lagarto y un pájaro.
 - d. Un cocodrilo está emparentado con un lagarto, pero no con un pájaro.



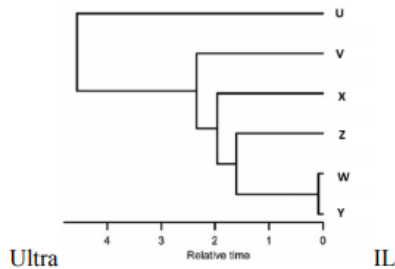
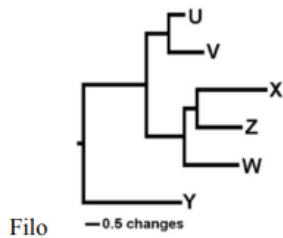
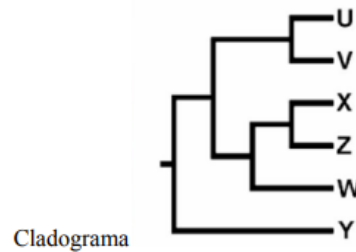
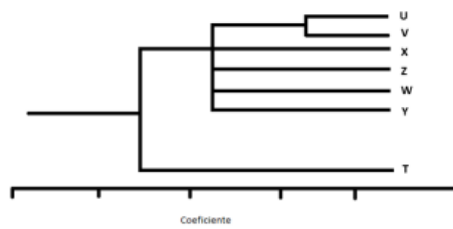
6. Usando la siguiente imagen, ¿cuál de las siguientes es una declaración precisa de las relaciones? Proporcione una explicación de por qué eligió su respuesta.
 - a. Una foca está más estrechamente relacionada con un caballo que con una ballena.
 - b. Una foca está más estrechamente relacionada con una ballena que con un caballo.
 - c. Una foca está igualmente relacionada con un caballo y una ballena.
 - d. Una foca está relacionada con una ballena, pero no está relacionada con un caballo.



- Imagine que estuvo en un viaje de campo al Amazonas y encontró una nueva planta. Su tarea es averiguar qué evidencia se necesita recopilar de esta nueva especie para identificar dónde agruparla correctamente con las plantas conocidas actualmente. Discuta los tipos de evidencia que intentaría explorar y su razonamiento de por qué ha seleccionado cada tipo de evidencia.
- Aunque los erizos de mar y los humanos parecen tener poco en común, los científicos encontraron recientemente nuevas pruebas que relacionan estrechamente a los erizos de mar (B) con los humanos (E) y otros vertebrados (D). Este hallazgo también sugiere que los erizos de mar no están tan estrechamente relacionados con los escarabajos (C) y las almejas (G). ¿Cuál de los siguientes árboles representa esta nueva evidencia?



- En las siguientes imágenes, indique el nombre para cada árbol filograma, cladograma, ultramétrico, fenograma, primera representación de Darwin, árbol de la vida.



10. Utilizando la información de la siguiente matriz, construya un cladograma que represente de manera correcta las relaciones.

	Lamprea	Antílope	Caimán	Águila calva	Róbalo
Mandíbula	0	1	1	1	1
Pelo	0	1	0	0	0
Pulmón	0	1	1	1	0
Molleja	0	0	1	1	0
Plumas	0	0	0	1	0

Anexo B

Categorías determinadas

- Nivel experto:** este nivel se caracteriza por presentar más de 10 de las habilidades determinadas.
- Nivel competente:** en este nivel se ubican las personas que posean entre 8 y 10 habilidades propuestas.
- Nivel intermedio:** para este nivel, los docentes en formación poseen entre 4 y 7 habilidades determinadas.
- Nivel insuficiente:** en esta categoría se ubican aquellos que poseen menos de 4 habilidades.

Habilidades determinadas

- Utiliza la representación (árbol filogenético) para explicar o entender un escenario filogenético.
- Es capaz de conectar los significados básicos de las relaciones ilustradas cuando comparan árboles filogenéticos.
- Comprende los elementos simbólicos del árbol; es decir, la función de los nodos, las ramas y las relaciones.
- Reconoce que la forma del árbol no necesariamente representa unas relaciones diferentes, sino que puede representar las mismas relaciones.
- Interpreta científicamente las relaciones ilustradas dentro de la topología del árbol, con base en la ancestralidad común.
- Identifica los patrones monofiléticos y las apomorfias implícitas que separan los taxones.
- Es capaz de utilizar y construir múltiples representaciones para resolver problemas filogenéticos.
- Es capaz de hacer predicciones, con base en información filogenética.
- Identifica y explica por qué o cómo una representación es más apropiada que otra.
- Es capaz de rechazar o aceptar hipótesis correctamente, influenciado por las representaciones.
- Interpreta los árboles filogenéticos en función de cómo ilustran la historia evolutiva.
- Interpreta patrones de las representaciones utilizando un enfoque que consiste en mapear la descendencia desde la ascendencia común para identificar al ancestro en común más reciente.
- Es capaz de identificar los principales linajes, indicando su clasificación y el significado de los principales cambios evolutivos.

Razonamientos utilizados en la resolución del cuestionario

Extraño: Este tipo de razonamiento se caracteriza en que el individuo usa fundamentos conceptuales inexactos, no son capaces de producir respuestas científicamente aceptadas, así mismo de describir similitudes entre relaciones y desarrollar árboles a partir de datos brindados.

Ecológico: El individuo representa ideas incorrectas de la influencia de los atributos geográficos en la relación de las especies. Hace referencia a atributos ecológicos como la ubicación geográfica, dificultad para incorporar información biogeográfica en problemas sistemáticos y simplificar el papel del medio ambiente en la especiación y la relación.

Morfológico: se caracteriza en la búsqueda de similitudes de apariencia física, eliminan la búsqueda de diferencias de las mismas e ignoran la evidencia genética, por lo que no tienen en cuenta aspectos como “evolución convergente”.

Rama influenciada: El tipo de representación influye en la representación, no identifica que los árboles filogenéticos pueden girar.

Nodo influenciado: se centra en el número de nodos entre taxones y árboles, identifica los nodos a partir de “una rama principal”.

Filogenético limitado: Usan razonamiento basado en conocimiento científico aceptado para explicar la respuesta, pero no llegan a la solución completa de la misma.

Filogenético: Interpretan y utilizan los árboles de la manera que lo haría un biólogo evolutivo.