

Enseñanza interdisciplinar para la introducción de la evolución molecular mediante analogías

Jesús Gómez Ochoa de Alda 

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y las Matemáticas, Facultad de Formación del Profesorado, Universidad de Extremadura. Cáceres, España.

ochoadealda@unex.es

José María Marcos Merino 

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y las Matemáticas, Facultad de Educación y Psicología, Universidad de Extremadura. Badajoz, España.

jmmarcos@unex.es

Rocío Esteban Gallego 

Departamento de Didáctica de las Matemáticas y de las Ciencias Experimentales, Facultad de Educación, Universidad de Salamanca. Salamanca, España.

rocioesteban@usal.es

[Recibido: 24 marzo 2023. Revisado: 12 abril 2023. Aceptado: 5 junio 2023]

Resumen: Diferentes investigaciones en didáctica de las ciencias apoyan la necesidad de iniciar la enseñanza de la evolución biológica en Educación Primaria. Para ello, es necesario mejorar la formación docente en esta área de conocimiento, así como disponer de recursos efectivos y motivantes para su enseñanza. En esta contribución se describe una intervención didáctica, basada en analogías entre la evolución biológica y los cambios en las lenguas a través del tiempo, y se muestra su efecto en una muestra de 143 futuros docentes. La analogía descrita permite mostrar diversos conceptos básicos de evolución molecular (homología, mutación, procesos de herencia, variación y selección) y abordar la construcción e interpretación de las relaciones evolutivas en árboles filogenéticos. Los resultados revelan que esta práctica mejora tanto la comprensión de la evolución biológica como la percepción del alumno hacia la actividad (aumenta las emociones positivas, disminuye las negativas y es bien valorada por los participantes en relación con su futuro profesional). Se detectan asociaciones significativas entre ambas variables afectivas (emociones y valor subjetivo) y el conocimiento posterior, que pueden ser tenidas en cuenta para potenciar la enseñanza de las ciencias mediante analogías.

Palabras clave: Analogías; Evolución; Formación inicial docente; Educación Primaria; Dominio afectivo

Design of an interdisciplinary active practice for the introduction to molecular evolution through analogies.

Abstract: Research in science education supports the need to teach biological evolution from the end of Primary Education. Improving teacher training in this area and compelling and engaging educational resources are necessary to achieve this goal. This study describes a teaching intervention that uses analogies between biological evolution and language changes over time to help students understand various basic concepts of molecular evolution. These concepts include homology, mutation, processes of heredity, variation, and selection, as well as the construction and interpretation of evolutionary relationships in phylogenetic trees. The study results show that this teaching approach improves students' understanding of biological evolution and overall perception of the activity. Students (143 pre-service teachers) reported experiencing more positive and fewer negative emotions and had a positive view of the intervention concerning their future profession. The study also found significant associations between students' emotions, subjective value, and final achievement. These associations can be considered when using analogies to enhance science teaching.

Keywords: Analogies; Evolution; Initial teacher training; Primary Education; Affective domain

Para citar este artículo: Gómez Ochoa de Alda, J., Marcos-Merino, J. M. y Esteban Gallego, R. (2024). Enseñanza interdisciplinaria para la introducción de la evolución molecular mediante analogías. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 21(1), 1204. doi: 10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2024.v21.i1.1204

Introducción

Comprender las pruebas de la teoría de la evolución en los diferentes niveles de organización biológica, desde el nivel de biosfera al molecular, resulta fundamental para entender la unidad y diversidad de la vida, y para adquirir una visión sistémica de los procesos biológicos. Por ello, se ha recomendado organizar los currículos de ciencias de la naturaleza en base a este concepto clave (Nadelson et al., 2009). Sin embargo, en el sistema educativo español, la enseñanza de la evolución no se inicia hasta finales de Educación Secundaria (4º de ESO), cuando el alumnado ya ha adquirido ideas previas a través la educación informal (películas, noticias...) que, en muchos casos, contienen errores conceptuales que se perpetúan (Fernández y Sanjosé, 2007). De forma general, la enseñanza de la evolución en la educación formal se realiza a través de un conjunto de conceptos aislados e inconexos sobre la herencia, y la variación, diversidad y selección de las especies (Price y Pérez, 2016), obviando los aspectos moleculares hasta el Bachillerato (White et al., 2013). Como consecuencia, los conceptos evolutivos suelen estar asociados a numerosos errores conceptuales, como los asociados a los mecanismos de la evolución o a la interpretación de los árboles filogenéticos (Gregory, 2009; Kong et al., 2016; Nadelson et al., 2009; Price y Pérez, 2016; White et al., 2013). Dada esta situación, y considerando el carácter vertebrador de la evolución, se ha recomendado enseñar conceptos evolutivos básicos desde Educación Primaria (Nadelson et al., 2009; Frejd et al., 2022), etapa en la cual también se han detectado numerosas preconcepciones sobre la evolución, aunque estas no suponen un obstáculo para un aprendizaje significativo de la misma (Vázquez-Ben y Bugallo-Rodríguez, 2022). Para incluir de una manera eficaz la enseñanza de algunos conceptos evolutivos en Educación Primaria es necesario mejorar la formación inicial de los maestros, así como desarrollar recursos didácticos para su enseñanza. En este sentido, las analogías entre la evolución biológica y los cambios de los lenguajes a través del tiempo (Esteban et al., 2017) podrían constituir una base para el diseño de intervenciones educativas.

Las analogías como recurso didáctico en la enseñanza de las ciencias

Las analogías pueden hacer accesible un concepto científico (diana o blanco) mediante su comparación con un concepto familiar para el alumnado (análogo). Son consideradas una herramienta de aprendizaje activo, que puede favorecer la comprensión y el aprendizaje de las ciencias si, según Jiménez-Tenorio et al. (2022) y las referencias que contiene, cumplen ciertas condiciones: i) el análogo utilizado tiene que ser más accesible y cercano que el blanco, a la vez que concreto y específico (a ser posible capaz de ser representado a través de una imagen o de algo tangible); ii) la semejanza entre el análogo y el blanco no debe ser ni demasiado grande (no resulta estimulante para el alumnado) ni demasiado pequeña (los estudiantes pueden tener dificultades para encontrar las similitudes); iii) los análogos no deben estar relacionados con ideas alternativas ni actitudes negativas hacia el blanco, a fin de evitar su transferencia; y iv) el análogo debe simplificarse en lo posible, eligiendo solo los atributos que faciliten la comprensión del blanco.

Otro aspecto relevante, para la efectividad de una analogía en la enseñanza, es la metodología empleada para su implementación, que debe ser activa y basada en el enfoque constructivista. Sin embargo, las analogías suelen presentarse, mayoritariamente, mediante modelos didácticos expositivos como productos ya acabados, que el alumnado debe asimilar en la dirección pretendida por el docente (Jiménez-Tenorio et al., 2022). Este enfoque resulta ineficaz para el aprendizaje de las ciencias (Richland y Simms, 2015). Además, la mayoría de los docentes en activo usa pocas analogías, emplea analogías muy simples, confunde las analogías con otros recursos didácticos (como los ejemplos) y/o plantea análogos con errores conceptuales que dificultan el aprendizaje de las ciencias (Glynn, 2008; Mastrilli, 1997). Por tanto, es preciso mejorar la formación didáctica de los docentes sobre analogías. Este proceso debería iniciarse desde la formación inicial, ya que existen algunos indicios de que los docentes en formación proponen diseños y hacen usos inadecuados de las analogías sobre ciencias influidos por sus bajos niveles de formación disciplinar en ciencias (Marcos-Merino et al., 2021, 2021; Yerrick et al., 2003). Una manera de introducir las analogías en la formación docente es emplearlas como recurso para la enseñanza de las ciencias, como recientemente han propuesto Marrero y González (2023).

La generación de un recurso didáctico eficaz, basado en una analogía, requiere la creación de un modelo que permita usar el conocimiento cotidiano para adquirir conceptos científicos. Así, “Teaching With Analogies” (TWA, Enseñanza con analogías) ha sido ampliamente descrito como un modelo constructivista para enseñar ciencias mediante analogías (Glynn, 2008). Según este modelo, en la implementación de una analogía es necesario seguir varias etapas: i) presentar el blanco, ii) presentar el análogo, iii) identificar las características relevantes del blanco y del análogo, iv) trazar las similitudes entre ambos (realizando extrapolaciones basadas en la comprensión del análogo), v) indicar dónde se rompe la analogía (abordando sus limitaciones o diferencias entre ambos fenómenos), y vi) concluir sobre el blanco. Asimismo, es necesario dar un papel activo al alumnado, a través del planteamiento de actividades de aplicación de la analogía para la resolución de problemas sobre el blanco (Jiménez-Tenorio et al., 2022). Las analogías, así implementadas, pueden favorecer el aprendizaje de las ciencias y mejorar la motivación de los estudiantes (Glynn, 2008).

Dominio afectivo y aprendizaje activo de las ciencias

Estudiantes y docentes experimentan emociones relacionadas con los contenidos, las metodologías, las tareas y los resultados, que determinan sus sensaciones y percepciones en el aula. De acuerdo con la teoría del control-valor (Pekrun, 2014), estas emociones académicas están determinadas por el valor subjetivo que el alumnado atribuye al aprendizaje y son un antecedente inmediato de sus logros. Dicha circunstancia se ha comprobado en numerosos estudios de didácticas específicas para diferentes materias, metodologías y niveles educativos (Pekrun, 2014). Según este autor, las emociones pueden ser activadoras (si promueven la acción, como el entusiasmo) o represoras (si inhiben la acción, como el aburrimiento); así como positivas (determinan la atracción hacia el foco de la emoción, como la alegría) o negativas (determinan la aversión desde el foco, como la frustración). Las observaciones aportadas por la psicología educativa concuerdan con la relación neurofisiológica establecida entre las emociones y los procesos cognitivos (memoria, atención, reflexión, comprensión, resolución de problemas...) (Todd et al., 2020). En su conjunto, los estudios neurocientíficos, didácticos y teorías psicológicas apoyan la necesidad de considerar los factores afectivos en la enseñanza. Dicha recomendación es especialmente relevante para las ciencias, cuyo aprendizaje está

asociado a un rechazo creciente por parte del alumnado. El rechazo hacia las ciencias, que se inicia a finales de la Educación Primaria y se mantiene en la Educación Secundaria, está caracterizada por aumentos de las sensaciones negativas (como ansiedad, preocupación, frustración, aburrimiento...) y por un descenso en el valor otorgado a la ciencia (Mellado et al., 2014). Este patrón de depresión emocional hacia el aprendizaje de las ciencias también ha sido observado por distintos autores en los maestros en formación, quienes además describen una baja autoeficacia y sentimientos negativos hacia su futura enseñanza. Dado que las emociones de los docentes hacia la enseñanza de sus materias se transmiten a sus estudiantes (Pekrun, 2014), es necesario mejorar las sensaciones y percepciones del alumno hacia las ciencias desde la formación inicial.

Para mejorar la motivación hacia las ciencias se ha propuesto la inclusión de enfoques de carácter práctico y activo. Existen numerosas investigaciones que han revelado la influencia positiva en el dominio afectivo de algunos enfoques activos como la indagación, el trabajo cooperativo, el aprendizaje basado en proyectos o la interdisciplinariedad (Koch et al., 2016; Machermer y Crawford, 2007). Esta circunstancia se ha mostrado para distintas etapas, también con maestros en formación (Marcos-Merino et al., 2019). Sin embargo, la influencia de las analogías no ha sido prácticamente estudiada hasta la fecha (Davis, 2016).

Objetivos

Esta contribución tiene por objeto mostrar:

- El desarrollo de una intervención didáctica para la enseñanza de conceptos básicos de evolución molecular mediante analogías atendiendo a las condiciones ya expuestas de Jiménez-Tenorio et al. (2022).
- Su implementación según el modelo TWA (Glynn, 2008).
- Su efectividad en el aprendizaje de conceptos evolutivos en futuros maestros.
- Su efectividad en el dominio afectivo (emociones académicas y valor subjetivo).
- Las interacciones entre los factores afectivos y cognitivos.

Metodología

Muestra

La investigación se ha desarrollado con una muestra no probabilística de 143 estudiantes (63 % mujeres) del tercer curso del Grado en Educación Primaria (Universidad de Extremadura). Los participantes cursaban la asignatura “Didáctica del medio físico y los seres vivos”, primera asignatura de didáctica de la biología del grado. La mayoría de estos futuros maestros no había recibido formación sobre los contenidos trabajados en la intervención desde la Educación Secundaria ya que solo un 21 % de los participantes cursó una modalidad de ciencia y tecnología en Bachillerato.

Instrumento

Se implementa un cuestionario constituido por 3 partes con el que valorar las emociones de la muestra (parte 1), el valor subjetivo que atribuye a la intervención (parte 2) y sus conocimientos (parte 3). Este cuestionario se aplica: i) justo antes de la intervención, para estimar las emociones anticipadas por los participantes ante la intervención y sus conocimientos previos de evolución molecular (anexo 1) y ii) 15 días después de la misma,

para determinar las emociones experimentadas durante la intervención, el conocimiento tras su implementación y la valoración subjetiva de la intervención (anexo 2). Siguiendo el procedimiento implementado en investigaciones previas, se considera que el intervalo de tiempo entre la aplicación de los cuestionarios es suficientemente extenso como para desvincular las respuestas del posttest de un aprendizaje transitorio o sentimientos puntuales, y suficientemente corto como para que sea influido por el aprendizaje autónomo o la asistencia a las clases teóricas (Marcos-Merino, 2020).

Se utilizan preguntas autoinformes para cuantificar las emociones y el valor subjetivo (partes 1 y 2) ya que constituyen una medida rápida (que apenas afecta al desarrollo de actividades en el aula) y fiable (ya que concuerdan con la actividad neurofisiológica) (Todd et al., 2020). Además, son ítems sencillos (un único ítem para estimar cada emoción y el valor) ya que, comparados con las pruebas multi-ítem, proporcionan suficiente validez, son más cortos y menos invasivos en los participantes. Ambos cuestionarios se encuentran descritos en detalle en un trabajo previo (Marcos-Merino, 2020), en el que se validan en base a sus consistencias interna y externa. Se estudian 10 emociones académicas: 5 activadoras positivas (alegría, confianza, satisfacción, entusiasmo y diversión) y 4 activadoras negativas (preocupación, frustración, incertidumbre y nerviosismo) y una represora negativa (aburrimiento). Estas emociones han sido seleccionadas en base a su presencia en muestras de maestros en formación y a su efecto en el aprendizaje (Marcos-Merino, 2020, Mellado et al., 2014, Pekrun, 2014). Los participantes autoinforman, siguiendo una escala ordinal de Likert (que oscila desde 1 “no experimentada” hasta 5 “intensamente experimentada”), sobre la intensidad con la que anticipan sentir (antes de la intervención) o habían sentido (tras la intervención) estas emociones. El análisis factorial de las nueve emociones activadoras permite extraer dos factores latentes, uno para las emociones positivas y otro para las negativas (Marcos-Merino, 2020). El valor subjetivo se mide con la siguiente pregunta: “Si aprender a sumar tiene un valor de 100 para tu vida diaria, ¿qué valor le otorgas, en una escala de 0 a 100, a la práctica realizada para tu futuro como docente de Educación Primaria?”.

La parte 3 del cuestionario evalúa el conocimiento de los participantes y está constituida por 10 preguntas cerradas de tipo test. Estas preguntas han sido previamente empleadas para analizar el conocimiento de muestras de docentes en formación sobre evolución (Marcos-Merino, 2020), validándose siguiendo lo indicado por Smith et al. (2008): se elaboraron teniendo en cuenta las principales concepciones alternativas sobre evolución molecular (Gregory, 2009; Kong et al., 2016; Nadelson et al., 2009; Price y Pérez, 2016; White et al., 2013) y los objetivos de aprendizaje de ESO y Bachillerato relacionados con la evolución (Decreto 86/2015). Por otro lado, dos de los autores han sido profesores de biología evolutiva.

Análisis estadístico

Los datos no se ajustan a una distribución normal (p -valor <0.05 , test de normalidad Kolmogorov-Smirnov), por lo que se utiliza estadística no paramétrica: i) test de Wilcoxon para comparar cambios de las emociones y los conocimientos y ii) correlación de Spearman para estudiar las asociaciones entre las emociones y el valor subjetivo con la nota del posttest (conocimientos posteriores). Estos análisis, junto a las representaciones de cajas (para las variables discretas como las emociones) y de violín (para las variables continuas como la nota de los cuestionarios), se realizan con el programa JASP v.0.13. Asimismo, se analizan las correlaciones para los factores asociados a las emociones positivas y negativas. Los factores se extraen mediante factorización de ejes principales y

rotación Oblimin (Marcos-Merino, 2020). Las correlaciones se representan con rectas de regresión lineal (programa Kaleidagraph v.4.5)

Para obtener una perspectiva sistémica y complementaria de la interacción entre las variables se realiza un análisis estadístico de redes mediante el método generalizado de los momentos (programa JASP v.0.13). En la red resultante dos variables están conectadas si, además de correlacionar, comparten el máximo grado de covarianza que no puede ser explicada por otra variable.

Diseño de la intervención didáctica basada en analogías

La intervención didáctica consta de dos fases. En la primera se trabajan las analogías como recurso para la enseñanza de las ciencias y, en la segunda, se abordan distintos conceptos de evolución molecular mediante analogías con los cambios en la lengua (Esteban et al., 2017). Para implementarla, con grupos de unos 20 individuos, el docente emplea diferentes recursos metodológicos (debates, indagación, resolución de problemas...) en una instrucción interdisciplinaria de biología, matemáticas y ciencias sociales que dura 3 horas.

La primera fase (unos 30 minutos) comienza con la lectura, y posterior debate guiado, de un texto sobre las analogías, su valor didáctico, sus características para ser efectiva y cómo implementarla en consonancia con el enfoque constructivista. Tras esto, para profundizar en la utilidad de las analogías como recurso didáctico en su futuro profesional, los participantes, de forma individual, desarrollan una actividad: proponen analogías para la enseñanza de diferentes conceptos y procesos de ciencias naturales en Educación Primaria (como tubérculo, funcionamiento del corazón y del riñón, respuesta inmune, célula o impulso nervioso). Posteriormente, las presentan al conjunto de la clase y el docente guía un debate sobre la pertinencia, utilidad y limitaciones de los análogos propuestos. Los resultados de las analogías diseñadas por los futuros maestros para estos blancos han sido descritos en un trabajo previo (Marcos-Merino et al., 2021).

En la segunda fase (unas 2 horas y 30 minutos) se implementan analogías para enseñar: i) conceptos complejos de evolución molecular y ii) cómo implementar una analogía en el aula bajo el enfoque constructivista. Así, siguiendo el modelo TWA (Glynn, 2008), se presenta a los estudiantes el concepto diana a trabajar (evolución biológica) y su análogo (cambios de la lengua). Para ello se emplea la siguiente afirmación, muy utilizada habitualmente en diferentes contextos: El ADN es un como un libro que contiene las instrucciones para la vida en forma de genes. Esto permite comenzar a trabajar, como indica el modelo TWA, las semejanzas entre ambos fenómenos, empezando por la característica análoga de las palabras y los genes que permitirá abordar el resto de los conceptos: el ADN y el lenguaje se representan con letras (las 27 letras del alfabeto español son el análogo de las 4 letras con las que se abrevian los nucleótidos del ADN: A, T, C y G) (5 minutos). Tras esto, a través de diferentes actividades, se continúan estableciendo otras semejanzas entre ambos procesos evolutivos, lo que permite abordar tanto conceptos de evolución molecular como recursos utilizados en los análisis filogenéticos, como son:

- Genoma, gen y nucleótido (5 minutos). Partiendo de la analogía inicial (El ADN es un como un libro que contiene las instrucciones para la vida en forma de genes) se pide a los estudiantes que emparejen los análogos “libro”, “frase” y “letra” con los conceptos diana “genoma”, “gen” y “nucleótido”. Mediante un debate guiado se profundiza en la organización de la información en el ADN.

- Mutaciones a nivel molecular (inserción, delección y sustitución) (15 minutos). Continuando con la palabra “hecho” en diferentes idiomas, se presenta a los participantes distintos pares de estas palabras alineados y se plantea: ¿Qué 3 tipos de cambios observas en los siguientes alineamientos de palabras? (Figura 1.b). Los estudiantes deducen que en la evolución de la palabra “hecho” se han incorporado, eliminado o sustituido letras. Esto permite al docente trazar una analogía con la que explicar los tipos de mutaciones que ocurren en la evolución del ADN: inserciones, delecciones y sustituciones de uno o más nucleótidos (Figura 1.b).
- Cambios en el marco de lectura abierta (25 minutos). Se plantea la siguiente situación: Imagina que para poder comunicarnos las palabras siempre tuvieran que estar formadas por tres letras y se escribiera sin espacios. ¿Qué ocurriría si introduces alguno de los 3 tipos de cambios en las siguientes frases? (Figura 1.c). Los estudiantes, bajo la guía del docente, concluyen que las inserciones, delecciones y sustituciones de letras, a veces, modifican el mensaje de las frases. Esto permite al docente trazar una analogía con la que, en primer lugar, activar diferentes conocimientos previos (el dogma central de la biología molecular, código genético o codones, entre otros) y, en segundo lugar, evidenciar el efecto de las mutaciones del ADN en las proteínas. Posteriormente, para profundizar en estos conceptos, los participantes resuelven una serie de ejercicios prácticos en los analizan qué tipo de mutación se ha producido en el ADN y si esta tiene efecto o no en la proteína final.
- Árboles filogenéticos (50 minutos). Continuando con la analogía lingüística, se enseña a los participantes a representar las relaciones evolutivas de los seres vivos mediante árboles filogenéticos, con el objetivo de capacitarlos en la correcta interpretación y comprensión de estos. En primer lugar, el docente utiliza varios ejemplos de árboles para que los estudiantes los interpreten y aprecien la coherencia entre los datos moleculares, celulares, fisiológicos y anatómicos de las especies representadas. A través de una discusión guiada introduce que la reconstrucción de las relaciones evolutivas se basa en la comparación de las secuencias de ADN de los grupos representados en el árbol. Para comprender este procedimiento, se construye, en común, un árbol filogenético sencillo, formado por las palabras “hecho”, “fecho” y “feito” (Figura 2), siguiendo el algoritmo de unión de vecinos más próximos. A modo de ejemplo, el docente representa la relación entre las palabras “factum” y “factu” y muestra el concepto de distancia evolutiva (Figura 2). Este ejemplo favorece la participación del alumnado y el aprendizaje entre iguales en las diferentes etapas en la construcción del árbol:
 - i) Realizar el alineamiento de las tres palabras.
 - ii) Construir una matriz de distancias evolutivas entre pares de palabras. Esta distancia se calcula como el número de diferencias puntuales (inserciones, delecciones y/o sustituciones de letras) dividido por el número de caracteres totales (número de letras de la palabra más larga). En el ejemplo de “factum” y “factu” hay una sola diferencia en los 6 caracteres totales, por lo que la distancia es $1/6$ o 0.17 (para facilitar los cálculos se pueden emplear porcentajes, 17% en este caso).
 - iii) Identificar los vecinos más próximos (parejas de palabras que tienen la distancia evolutiva más pequeña entre ellas).
 - iv) Comenzar a construir el árbol uniendo los vecinos más próximos a través de dos ramas de la misma longitud que parten de un mismo nudo (el ancestro común a

ambas palabras). En el ejemplo, las ramas que unen “factum” y “factu” son de 0.08 cada una y confluyen en un nudo (la palabra que dio origen a ambas).

v) Construir una nueva matriz de distancias considerando ya a la pareja de palabras identificada como una sola palabra, para lo cual es necesario determinar la distancia entre esa pareja y el resto de las palabras.

vi) Continuar repitiendo el proceso descrito hasta finalizar el árbol.

Para profundizar en este procedimiento, el docente propone a los participantes construir un nuevo árbol con las palabras “fait”, “fact” y “fatto”, en esta ocasión de forma individual.

Tras abordar los diferentes conceptos evolutivos, en consonancia con el modelo TWA, el docente reflexiona sobre las limitaciones más destacables que presentan las analogías trabajadas, como diferencias entre los cambios lingüísticos y la evolución biológica (Christiansen y Kirby, 2003), (10 minutos):

- El ADN no está formado por letras. Aunque en ambos casos la información se muestra en una secuencia de letras, el ADN no está realmente formado por letras, sino que las mismas se emplean para representar moléculas químicas (los nucleótidos). Asimismo, el número de letras que forman las palabras es mayor que el número de nucleótidos, por lo que es también mayor el número de combinaciones posibles.
- En el ADN la información relativa a un mismo carácter (por ejemplo, el color de los ojos o del pelo) puede encontrarse en distintos puntos no contiguos del genoma. Mientras, en el lenguaje la información sigue un orden para transmitir un mensaje (en un texto la información está organizada en frases, párrafos, capítulos...).
- La herencia del ADN es material, se produce en un único momento (la fecundación), es exclusiva de la descendencia (siempre se adquiere a través de los progenitores, salvo muy raras excepciones en las que se adquiere a través de virus) y es prácticamente invariable durante la vida de la persona. La herencia del lenguaje es inmaterial, se puede adquirir en cualquier momento (pudiéndose adquirir incluso varios idiomas), a través de cualquier individuo (progenitores, otros familiares y no familiares) y varía durante la vida del individuo.
- La selección de los cambios que se producen en ADN es por deriva genética y por selección natural. La selección de los cambios que se producen en las lenguas es principalmente consecuencia del azar (análogo de deriva genética), de las características fonológicas y de la transmisión cultural (analogía de la selección natural).
- El tiempo necesario para que se puedan observar cambios en las especies es mucho mayor que el necesario para observar cambios en las palabras. La evolución genética requiere periodos de tiempo muy largos (miles de años) mientras que las nuevas palabras pueden seleccionarse en pocos siglos.

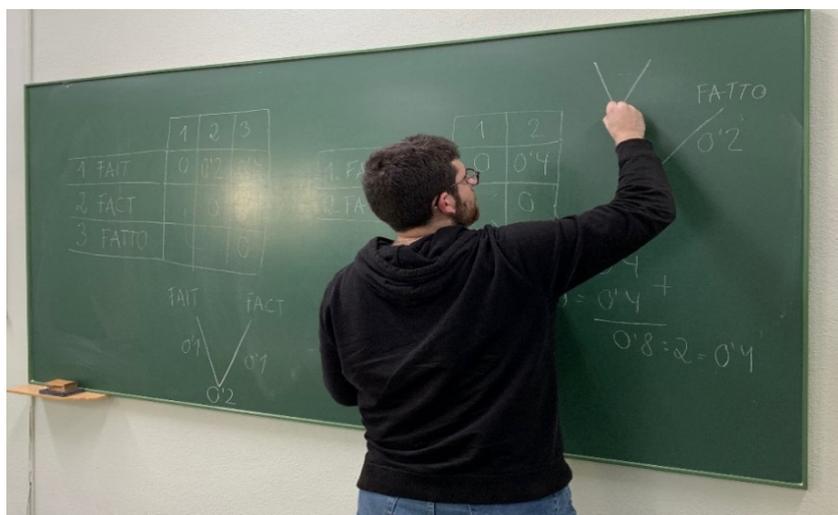
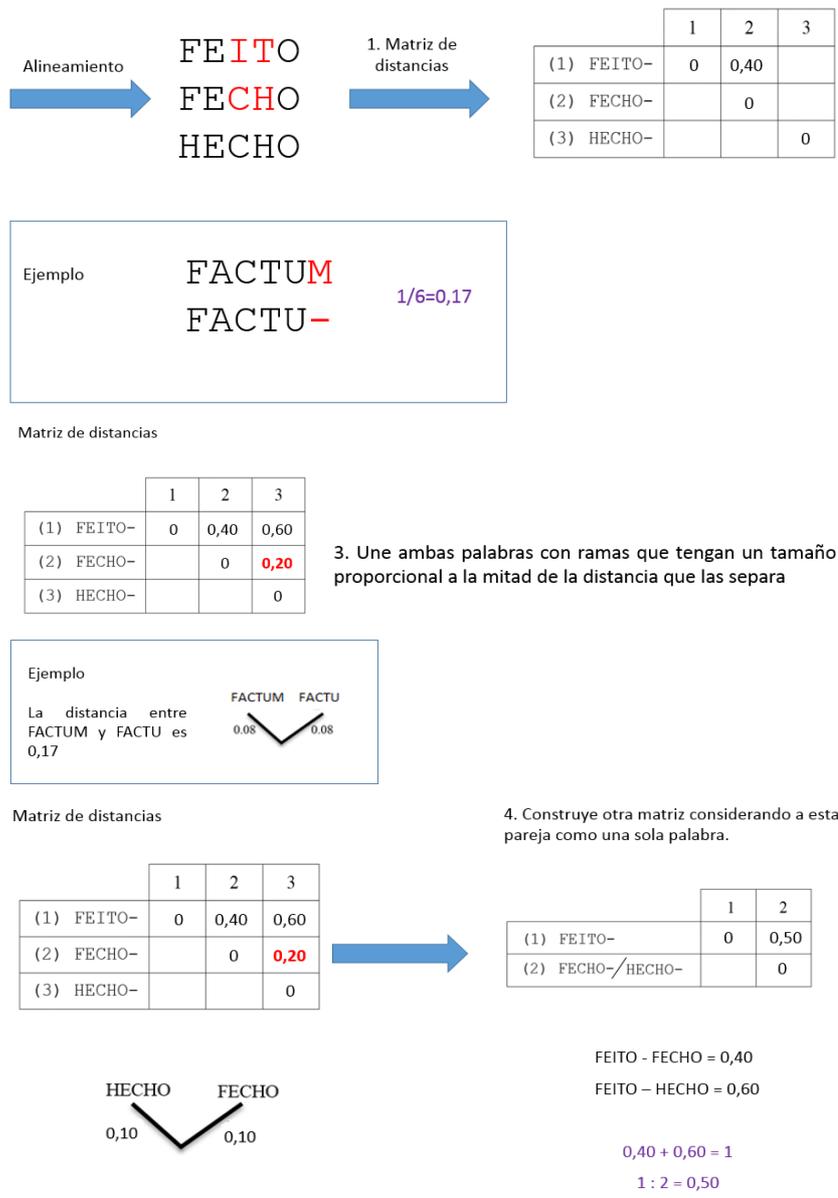


Figura 2. Construcción de árboles filogenéticos a través de la analogía.

Para finalizar la intervención, a modo de conclusiones importantes para su futuro profesional, el docente: i) explicita el papel didáctico de las analogías cuando son implementadas con un enfoque constructivista, ii) resalta la importancia de implementar actividades interdisciplinarias con las que trabajar distintas competencias, y, siguiendo lo indicado en el modelo TWA, iii) concluye sobre el blanco, enfatizando la importancia de comenzar a abordar la enseñanza de la evolución en Educación Primaria (10 minutos).

Como actividad posterior, se solicita a los estudiantes diseñar actividades basadas en las analogías trabajadas en la intervención con las que abordar en 6º curso de Educación Primaria: i) que la información genética se almacena en la secuencia del ADN, ii) que las especies más cercanas tienen un ADN más parecido y iii) los 3 procesos básicos de evolución. Deben entregarlas 15 días después, momento en el cual se implementa el postest.

Resultados

Análisis del cambio en los conocimientos sobre evolución molecular

Al comparar las calificaciones que los participantes han obtenido en las preguntas de contenidos antes y después de la implementación de la intervención, se observa un aumento significativo de la nota, desde una media de 4.98 en el pretest a una media de 6.46 en el postest (p -valor <0.001 , test de Wilcoxon) (Figura 3). Este aumento en el nivel de conocimiento de los participantes apoya la eficacia de la intervención en relación al aprendizaje a corto plazo de conceptos de evolución molecular.

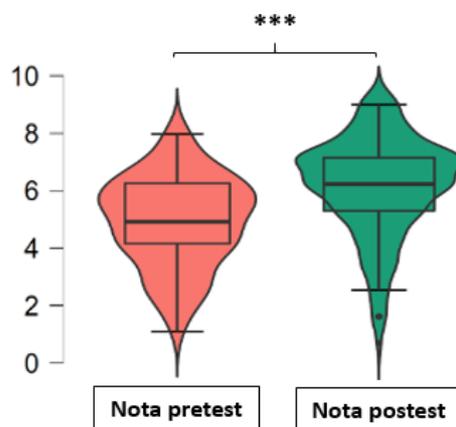


Figura 3. Diagramas de cajas y de violín que representan la distribución de las notas del pretest y del postest. La recta horizontal dentro de cada caja representa la mediana. Los límites inferiores y superiores de cada caja corresponden a los percentiles 25 y 75. La terminación inferior y superior de las líneas verticales a los percentiles 5 y 95. La curva del violín representa la densidad de puntos (** p -valor < 0.001 , test de Wilcoxon).

Análisis de las emociones académicas y el valor subjetivo hacia la intervención

La implementación de la intervención basada en analogías modificó de forma significativa algunas de las emociones académicas de los participantes respecto a su expectativa inicial.

Los participantes sintieron más confianza y satisfacción (p -valor <0.001 , test de Wilcoxon) y menos preocupación (p -valor <0.001 , test de Wilcoxon), incertidumbre, frustración y nerviosismo (p -valor <0.05 , test de Wilcoxon) del que inicialmente pensaban que iban a sentir al trabajar contenidos de evolución utilizando analogías (Figura 4). En el caso de la satisfacción la mediana aumenta de 3 a 4, mientras que la mediana de la confianza es 3 antes y después de la intervención (las diferencias encontradas se deben a aumentos de la

varianza). En relación a las emociones negativas, la mediana de la preocupación disminuye de 3 a 2, mientras que es de 3 para la incertidumbre y de 2 para el nerviosismo y la frustración tanto antes como después de la práctica (las diferencias significativas halladas para estas emociones se deben a disminuciones de la varianza). En conjunto, las medidas de las emociones indican un cambio positivo en la percepción del alumno hacia la práctica.

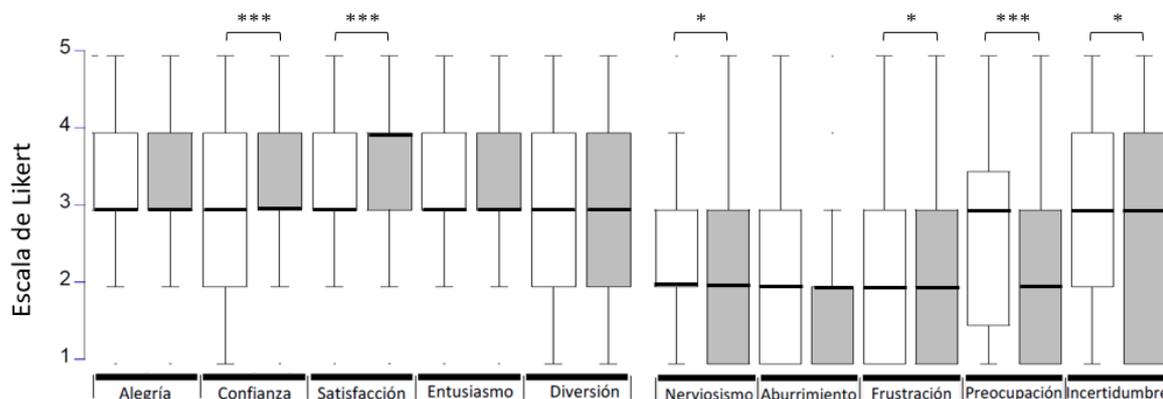


Figura 4. Distribución de la intensidad de las emociones positivas y negativas antes (cajas vacías) y después (cajas grises) de la intervención. La recta horizontal dentro de cada caja representa la mediana. Los límites inferiores y superiores de cada caja corresponden a los percentiles 25 y 75. La terminación inferior y superior de las líneas verticales a los percentiles 5 y 95. (***)p-valor<0.001, (*)p-valor<0.05, test de Wilcoxon).

El efecto positivo en el dominio afectivo de los participantes se observa también al analizar el valor otorgado a la intervención tras su realización: se obtiene una media de 74.61, lo que sugiere que la práctica es bien valorada por estos en relación a su futuro desempeño docente.

Análisis de las interacciones entre el conocimiento y los factores afectivos

Los análisis de correlación de Spearman reflejan una asociación significativa entre la intensidad de algunas emociones experimentadas con la intervención y el conocimiento posterior, medido a través de la nota del postest (Tabla 1). Se observan correlaciones negativas para todas las emociones negativas (p-valor<0.05). Respecto a las emociones positivas, solo la satisfacción correlaciona positivamente (p-valor<0.01). Estas correlaciones también se observan al analizar los factores latentes: correlación negativa de la nota del postest con el factor de las emociones negativas (-0.196, p-valor<0.01) y correlación positiva con el factor de las emociones positivas (0.176, p-valor<0.05).

Tabla 1. Coeficientes de correlación entre la intensidad de las emociones sentidas durante la intervención y: la nota del postest (columna izquierda) y el valor subjetivo (columna derecha). En negrita se resaltan las correlaciones significativas (Spearman, ***p-valor<0.001, **p-valor<0.01, *p-valor<0.05).

	Nota del postest	Valor subjetivo
<i>Alegría</i>	0.020	0.308***
<i>Confianza</i>	0.083	0.330***
<i>Satisfacción</i>	0.221**	0.341***
<i>Entusiasmo</i>	0.113	0.299***
<i>Diversión</i>	0.100	0.260***
<i>Nerviosismo</i>	- 0.163*	-0.192***
<i>Aburrimiento</i>	- 0.180**	- 0.396***
<i>Frustración</i>	- 0.197**	- 0.305***
<i>Preocupación</i>	- 0.149**	- 0.267***
<i>Incertidumbre</i>	- 0.157*	-0.144

Respecto al valor subjetivo otorgado a la intervención, correlaciona positivamente con la nota del postest (0.186, p -valor <0.05), positivamente con todas las emociones positivas y negativamente con todas las negativas a excepción de la incertidumbre (Tabla 1, p -valor <0.001). Los resultados de estos estudios de correlación, representados en las rectas de regresión lineal (Figura 5.a), indican que los participantes que obtuvieron mejores resultados con la intervención son aquellos que experimentaron más emociones positivas y menos emociones negativas, así como aquellos que la valoran mejor en relación a su futuro docente. Asimismo, los componentes del dominio afectivo están relacionados: aquellos participantes que describen mayores niveles de valor subjetivo son los que sintieron más emociones positivas y menos negativas.

El análisis de redes integra las relaciones de las emociones, el valor subjetivo y el conocimiento posterior (Figura 5.b). Este análisis confirma el análisis factorial, mostrando el agrupamiento de las emociones en función de su valencia. Esto indica que las emociones positivas se modulan entre sí y las emociones negativas se modulan entre sí. Además, el aburrimiento y la confianza se relacionan con emociones de valencia opuesta, lo que sugiere que el aburrimiento también puede modular a las emociones positivas y la confianza a las negativas. Teniendo en cuenta esta modulación entre las emociones académicas, es posible establecer que las emociones experimentadas modulan el aprendizaje a través de la frustración (influencia negativa) y la satisfacción (influencia positiva). Ambas emociones, junto con el aburrimiento y la confianza, son las responsables de la interacción del conjunto de las emociones con el valor subjetivo, que a su vez también es un antecedente próximo del aprendizaje.

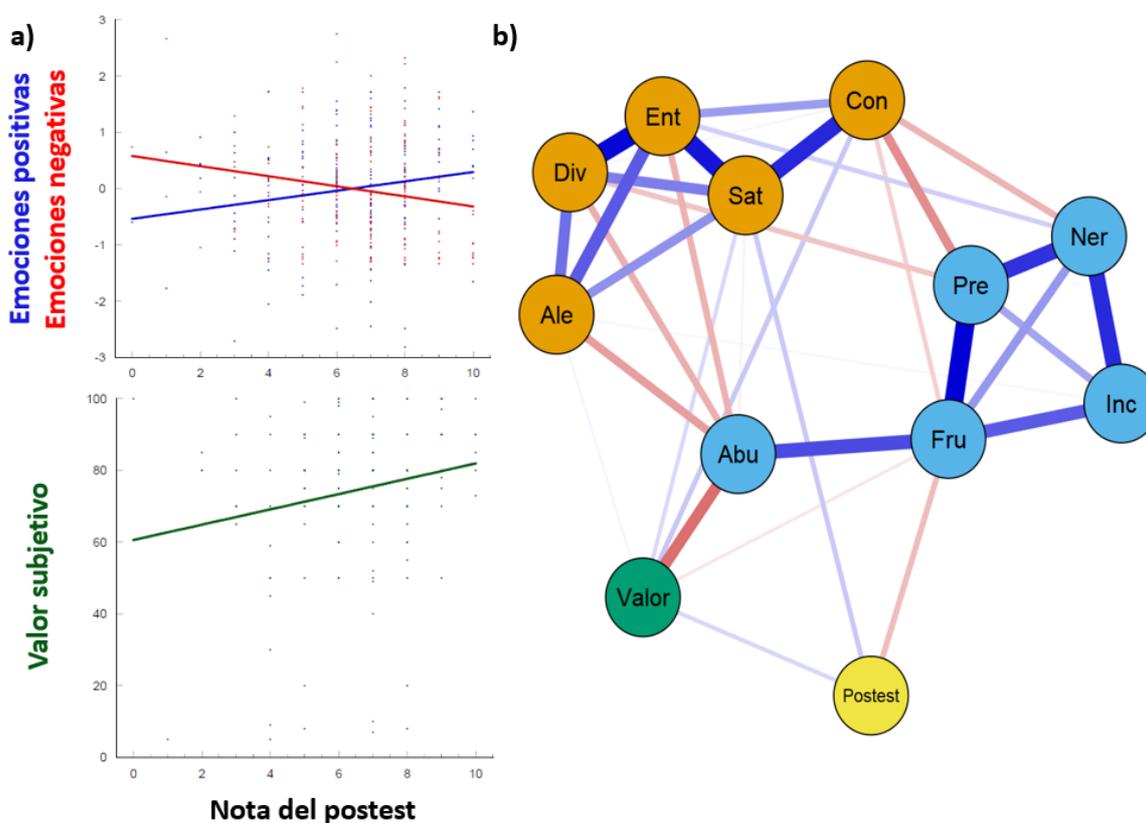


Figura 5. a) Regresión lineal de la nota del postest con los factores de las emociones positivas, negativas y el valor. b) Red que representa las interacciones significativas positivas (aristas azules) y negativas (aristas rojas) entre las emociones positivas (naranja), negativas (azul), el valor subjetivo (verde) y la nota del postest (amarillo). El grosor de la línea es proporcional a la fortaleza de la interacción.

Discusión e implicaciones educativas

Los resultados de esta investigación apoyan que la intervención diseñada, para la enseñanza de evolución utilizando analogías como recurso didáctico, es efectiva, motivante y bien valorada por los participantes. Respecto a su efectividad, los resultados obtenidos concuerdan con distintos trabajos previos que han señalado la efectividad de las analogías en el aprendizaje de las ciencias (Glynn, 2008; Rothhaar et al., 2006); recomendando su implementación como recurso para la enseñanza de áreas con conceptos abstractos como la evolución. Ante estos resultados se surge incorporar, en la formación inicial, secuencias de enseñanza-aprendizaje con las que abordar las analogías como recurso didáctico y en las que enseñar conceptos científicos concretos a través de su uso (Marrero & González, 2023). Con esta intervención se podría contribuir a formar a los futuros docentes de Educación Primaria para introducir conceptos evolutivos básicos en los cursos superiores de la etapa, tal y como sugieren investigaciones recientes (Vázquez-Ben y Bugallo-Rodríguez, 2022; White et al., 2013). La inclusión de las analogías, en las asignaturas de didáctica de las ciencias de la formación inicial, también es necesaria porque los futuros maestros presentan dificultades para diseñar e implementar analogías con las que trabajar los blancos más abstractos (precisamente aquellos para los que resultan más pertinentes) y/o transmiten ideas alternativas sobre los blancos (Marcos-Merino et al., 2021; Yerrick et al., 2003). Además, la implementación de analogías puede permitir relacionar distintas áreas, lo que posibilita la inclusión de enfoques interdisciplinares y CTS (Richland y Simms, 2015). En concreto, la analogía lingüística descrita involucra competencias biológicas, matemáticas, lingüísticas, históricas y geográficas; a la vez que permite abordar las herramientas de análisis de filogenia molecular. Esta analogía no podría implementarse en Educación Primaria tal y como se describe en esta contribución, ya que los estudiantes no conocen todavía el sustrato molecular de la herencia y comúnmente presentan dificultades con las fracciones y los números decimales. Sin embargo, con las adaptaciones pertinentes (como el uso de porcentajes y operaciones matemáticas sencillas), puede abordarse la construcción de árboles filogenéticos en esta etapa, como han mostrado Chanet y Lusignan (2009). También pueden incluirse en esta etapa la presentación de los cambios lingüísticos, su distribución geográfica y análisis, dando lugar a un andamiaje sobre el que desarrollar la enseñanza-aprendizaje de la evolución molecular en Educación Secundaria (del mismo modo que el conocimiento del Sistema Solar constituye en esta etapa un andamiaje para comprender la estructura atómica).

En relación al efecto positivo de la intervención en el dominio afectivo, los resultados concuerdan con distintos autores que han sugerido que las analogías podrían ser un recurso motivante en la enseñanza de las ciencias (Glynn, 2008). Sin embargo, no se pueden comparar con estudios previos sobre el impacto del uso de analogías en las emociones académicas o el valor subjetivo, puesto que esto no se ha investigado hasta la fecha (ni en muestras de maestros en formación ni de otras etapas educativas). Aun así, es preciso resaltar que los resultados concuerdan con la influencia positiva de la enseñanza activa en estas variables afectivas (Machemer y Crawford, 2007). La mejora detectada en los elementos afectivos también podría deberse, como han mostrado estudios previos, a la inclusión de enfoques interdisciplinares entre las ciencias naturales y las ciencias sociales (Koch et al., 2016). La inclusión de actividades basadas en analogías y en enfoques interdisciplinares podría contribuir, por tanto, a mejorar las emociones de los futuros maestros hacia las ciencias y su enseñanza; así como favorecer su implementación en su futuro profesional. Esto es necesario ya que los enfoques activos son poco empleados por docentes noveles y en formación (Mellado et al., 2014).

Respecto a la relación del conocimiento posterior con los aspectos afectivos, los resultados de los análisis estadísticos de correlación y de redes sugieren que los antecedentes afectivos más inmediatos del conocimiento posterior son el valor subjetivo, la frustración y la satisfacción, dos emociones de valencia opuesta que pueden surgir en función de los resultados obtenidos en las actividades de ciencias. Asimismo, el principal determinante del valor subjetivo es el aburrimiento, una emoción que favorece la desconexión del alumno durante las actividades del aula. En conjunto, los resultados indican que los participantes que se conectaron más con la actividad implementada y experimentaron la satisfacción de conseguir los resultados esperados fueron los que obtuvieron mejores calificaciones en el test de conocimiento. Esto apoya la necesidad de implementar en el aula intervenciones activas y motivadoras como la que se presenta en este estudio. Las interacciones emociones-aprendizaje concuerdan con las halladas en estudios previos para otras metodologías activas (Marcos-Merino et al., 2019; Pekrun, 2014), aunque estos estudios suelen centrarse en la relación de las emociones negativas (fundamentalmente ansiedad) con el rendimiento. Como defienden Murphy et al. (2019) son necesarias más investigaciones, como la desarrollada en esta contribución, que aborden el papel de otras emociones (sobre todo positivas) en el aprendizaje. Respecto al valor subjetivo, su interacción positiva con el rendimiento concuerda con distintos trabajos en los que se ha mostrado que resaltar la aplicabilidad de los contenidos mejora el rendimiento académico (Machemer y Crawford, 2007); sobre todo el de aquellos estudiantes que, inicialmente, tenían menos expectativas (Hulleman et al., 2010). En su conjunto, las interacciones del conocimiento posterior con ambos factores afectivos encajan con estudios neurofisiológicos que han mostrado que la información afectiva se recuerda mejor que la información neutra, ya que es considerada por los estudiantes de mayor utilidad para su futuro (Todd et al., 2020). Esta mejora en la memoria podría explicar el incremento en los conocimientos de los participantes a corto plazo con la intervención. Teniendo en cuenta las interacciones detectadas se recomienda, para favorecer el aprendizaje de las ciencias al usar analogías: i) resaltar la utilidad de los contenidos impartidos e ii) intervenir sobre el aburrimiento y la confianza (para incrementar la satisfacción y atenuar la frustración), dado que estas emociones interactúan tanto con el valor subjetivo como con todas las emociones (modulando también a las de valencia opuesta). El papel modulador de ambas emociones académicas sobre las emociones de valencia opuesta también ha sido observado con la implementación de prácticas de indagación (Marcos-Merino et al., 2019).

Conclusiones

La enseñanza de evolución molecular a maestros en formación utilizando analogías con los cambios lingüísticos es efectiva y genera cambios en sus emociones (a corto plazo aumentan sus conocimientos y emociones positivas, y disminuyen las negativas). Asimismo, es bien valorada por los participantes en relación a su futuro profesional, y se observan interacciones entre conocimientos y variables afectivas: aquellos que mejor valoran la práctica y sienten más satisfacción y menos frustración son los que adquieren más conocimientos. Estos resultados apoyan la validez de la intervención para abordar la evolución y su con futuros maestros. Con ello se contribuiría a formar a estos para introducir los mecanismos básicos de la evolución (herencia, variación y selección) en Educación Primaria, así como se les capacitaría para interpretar correctamente los árboles filogenéticos, incluidos habitualmente en los libros de texto para representar las relaciones entre seres vivos.

Limitaciones y futuras líneas de investigación

Dado que en este trabajo se presenta un estudio inicial, esta contribución tiene algunas limitaciones: i) todos los participantes pertenecen a la misma región y programa formativo, ii) entre los cuestionario inicial y final transcurre un corto periodo de tiempo, iii) el test de conocimientos sólo evalúa contenidos conceptuales y iv) es necesario considerar que los test autoinformes miden la verbalización de las emociones como sentimientos y dependen de la capacidad de introspección de los individuos. Por ello, en futuros trabajos sería interesante:

- Implementar la intervención con futuros docentes de otros contextos y etapas educativas, como estudiantes de los masters de formación del profesorado de Educación Secundaria, etapa en la que se aborda de manera detallada la enseñanza de la evolución a nivel molecular.
- Emplear un retest con el que evaluar el efecto de la intervención a largo plazo en los conocimientos y los factores afectivos.
- Emplear otros instrumentos de investigación (preguntas abiertas o entrevistas) para, mediante análisis cualitativo, evaluar el aprendizaje de habilidades y actitudes y su relación con los factores afectivos.
- Analizar diferencias del efecto de la intervención en función del género de los participantes y/o de su formación previa.

Otra limitación de la intervención es su duración, dado que se trabajan muchos conceptos nuevos para los participantes en un tiempo limitado. En futuras implementaciones podría ser interesante trabajar las analogías como recurso didáctico en una sesión previa, dedicando más tiempo a la segunda parte de la intervención. Esto podría permitir dar un mayor grado de protagonismo al alumnado. Asimismo, dado el carácter interdisciplinar de la intervención, se propone implicar a otras didácticas específicas (didáctica de las matemáticas, de la lengua, del inglés...) en su implementación con futuros maestros.

Agradecimientos

Este estudio ha sido financiado por el proyecto PID2020-115214RB-I00/AEI/10.13039/501100011 033 (Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, Gobierno de España).

Referencias

- Chanet, B. y Lusignan, F. (2009). Teaching Evolution in Primary schools: an example in French classrooms. *Evolution Education and Outreach*, 2, 136–140. <https://doi.org/10.1007/s12052-008-0095-y>
- Christiansen, M. H., y Kirby, S. (2003). Language evolution: Consensus and controversies. *Trends in cognitive sciences*, 7(7), 300-307. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(03\)00136-0](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(03)00136-0)
- Davis, J. P. (2016). *A study of the emotional essence of analogical reasoning in secondary school science* (PhD thesis). Brisbane: Queensland University of Technology.
- Decreto 98/2016, de 5 de julio, por el que se establecen la ordenación y el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato para la comunidad autónoma de Extremadura.

- Esteban, R., Marcos-Merino, J. M., y Gómez Ochoa de Alda, J. (2017). Introducción a la evolución molecular a través de una analogía lingüística. *Enseñanza de las Ciencias*, (Extra), 3669-3676.
- Fernández, J. J. y Sanjosé, V. (2007) Permanencia de ideas alternativas sobre evolución de las especies en la población culta no especializada. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, 21, 129-149. <https://core.ac.uk/download/pdf/71003399.pdf>
- Frejd, J., Stolpe, K., Hultén, M. y Schönborn, K. J. (2022). Making a fictitious animal: 6-7 year-old Swedish children's meaning making about evolution during a modelling task, *Journal of Biological Education*, 56(3), 323-339, <https://doi.org/10.1080/00219266.2020.1799843>
- Glynn, M. (2008). Making science concepts meaningful to students: teaching with analogies. En S. Mikelskis-Seifert, U. Ringelband & M. Bruckmann (Eds.), *Four Decades of Research in Science Education: from Curriculum Development to Quality Improvement* (pp. 113-127). Munster, Alemania: Waxmann
- Gregory, T. R. (2009). Understanding Natural Selection: essential concepts and common misconceptions. *Evolution: Education and Outreach*, 2, 156-175. <https://doi.org/10.1007/s12052-009-0128-1>
- Jiménez-Tenorio, N., Aragón, L., Aragón-Méndez, M.M. y Oliva, J.M. (2022). *Modelizar en las clases de ciencias. Actividades y recursos útiles para la enseñanza y aprendizaje con modelos*. Octaedro.
- Koch, F. D., Dirsch-Weigand, A., Awolin, M., Pinkelman, R. J., y Hampe, M. J. (2017). Motivating first-year university students by interdisciplinary study projects. *European Journal of Engineering Education*, 42(1), 17-31. <https://doi.org/10.1080/03043797.2016.1193126>
- Kong, Y., Anderson, T. y Peláez, N. (2016). How to Identify and Interpret Evolutionary Tree Diagrams. *Journal of Biological Education*, 50(4), 395-406. <https://doi.org/10.1080/00219266.2015.1117514>
- Machemer, P. L., y Crawford, P. (2007). Student perceptions of active learning in a large cross-disciplinary classroom. *Active learning in higher education*, 8(1), 9-30. <https://doi.org/10.1177/1469787407074008>
- Marcos-Merino, J. M. (2020). *Emociones y aprendizaje en las actividades prácticas de Biología en Educación Primaria y en el Grado de Maestro en Educación Primaria* (tesis doctoral). Badajoz: Universidad de Extremadura.
- Marcos-Merino, J. M., Esteban, R. y Ochoa de Alda, J. A. G. (2019). Formando a futuros maestros para abordar los microorganismos mediante actividades prácticas. Papel de las emociones y valoraciones de los estudiantes. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16(1), 1602. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i1.1602
- Marcos-Merino, J. M., Esteban, M. R. y Ochoa de Alda, J. A. G. (2021). Analogías propuestas por futuros maestros para la enseñanza de Biología: implicaciones en la formación inicial. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 5(1), 73-86. <https://doi.org/https://doi.org/10.17979/arec.2021.5.1.6675>

- Marrero, J. J., y González, P. (2023). Investigaciones sobre el uso de analogías en el aula de ciencias: una revisión sistemática. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 20(1), 110101. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2023.v20.i1.1101
- Mastrilli, T. M. (1997). Instructional analogies used by biology teachers: Implications for practice and teacher preparation. *Journal of Science Teacher Education*, 8(3), 187-204. <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1009451802467>
- Mellado, V., Borrachero, A. B., Brígido, M., Melo, L. V. y Dávila, M. A. (2014). Las emociones en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 11-36. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/v32-n3-mellado-borrachero-brigido-melo-et-al>
- Murphy, S., MacDonald, A., Wang, C. A. y Danaia, L. (2019). Towards an Understanding of STEM Engagement: a Review of the Literature on Motivation and Academic Emotions. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 1-17. <https://doi.org/10.1007/s42330-019-00054-w>
- Nadelson, L., Culp, R., Bunn, S., Burkhart, R., Shetlar, R., Nixon, K. y Waldron, J. (2009). Teaching evolution concepts to early elementary school students. *Evolution: Education and Outreach*, 2(3), 458-473. <https://evolution-outreach.biomedcentral.com/articles/10.1007/s12052-009-0148-x>
- Pekrun, R. (2014). *Emotions and learning*. Ginebra, Suiza: International Academy of Education/ International Bureau of Education.
- Price, R. M., y Pérez, K. E. (2016). Beyond the adaptationist legacy: updating our teaching to include a diversity of evolutionary mechanisms. *The American Biology Teacher*, 78(2), 101-108. <https://doi.org/10.1525/abt.2016.78.2.101>
- Richland, L. E. y Simms, N. (2015). Analogy, higher order thinking, and education. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 6(2), 177-192. <https://doi.org/10.1002/wcs.1336>
- Rothhaar, R., Pittendrigh, B. R. y Orvis, K. S. (2006). The Lego® analogy model for teaching gene sequencing and biotechnology. *Journal of Biological Education*, 40(4), 166-171. <https://doi.org/10.1080/00219266.2006.9656039>
- Smith, M., Wood, W. y Knight, J. (2008). The genetics concept assessment: a new concept inventory for gauging student understanding of genetics. *CBE-life sciences Education*, 7(4), 422-430. <https://doi.org/10.1187/cbe.08-08-0045>
- Todd, R. M., Miskovic, V., Chikazoe, J. y Anderson, A. K. (2020). Emotional Objectivity: Neural Representations of Emotions and Their Interaction with Cognition. *Annual Review of Psychology*, 71, 25-48. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010419-051044>
- Vázquez-Ben, L. y Bugallo-Rodríguez, Á. (2022). ¿Qué saben niños y niñas sobre evolución? Diseño y aplicación de un modelo científico escolar de evolución para educación primaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 19(1), 1102. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2022.v19.i1.1102

- White, P. J., Heidemann, M. K., & Smith, J. J. (2013). A new integrative approach to evolution education. *BioScience*, 63(7), 586-594. <https://doi.org/10.1525/bio.2013.63.7.11>
- Yerrick, R., Doster, E., Nugent, J., Parke, H. y Crawley, F. E. (2003). Social interaction and the use of analogy: An analysis of preservice teachers' talk during physics inquiry lessons. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(5), 443-463. <https://doi.org/10.1002/tea.10084>

Anexo I. Cuestionario

Escribe un código formado por: inicial del nombre de tu madre, inicial del nombre de tu padre, dos últimas cifras y letra de tu DNI (ej. MM54S):

Parte 1. En este seminario vamos a realizar una actividad práctica sobre evolución molecular mediante el uso de analogías. Señala las emociones que esperas sentir con esta actividad (de 1 -nada- a 5 -mucho o intensamente-).

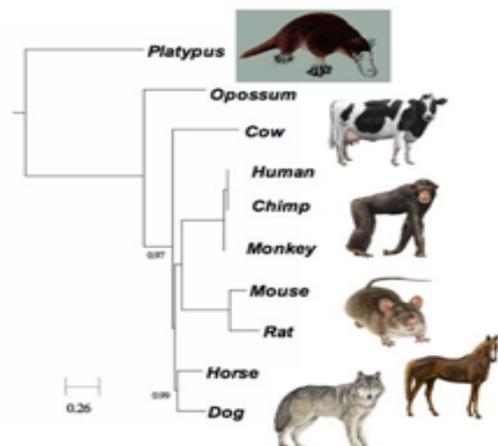
	Intensidad				
	1	2	3	4	5
Alegría					
Satisfacción					
Nerviosismo					
Diversión					
Frustración					
Incertidumbre					
Entusiasmo					
Preocupación					
Confianza					
Aburrimiento					

Parte 2. Responde a las siguientes preguntas (sólo una opción es correcta en cada pregunta)

- Señala la afirmación correcta relativa a los árboles filogenéticos:
 - Son clasificaciones de los seres vivos basadas exclusivamente en su morfología
 - Son representaciones de las relaciones evolutivas de los de seres vivos construidas comparando sus moléculas de ADN
 - Son clasificaciones de los de seres vivos construidas únicamente comparando sus embriones
 - Ninguna de las opciones es correcta

- Observa el árbol de la figura. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es correcta?

- Las secuencias de nucleótidos del perro son más parecidas a las de la vaca que a las del caballo
- El ADN de los caballos es más parecido al de los chimpancés que al de los perros
- Los genes del perro son más similares a los del caballo que a los del mono
- Los genes de la rata y el ratón son idénticos ya que la rata es la hembra del ratón



- Señala la información correcta:
 - Los genes pueden ser de ADN, ARN o proteínas
 - Los genes están formados por nucleótidos
 - Los genes están formados por aminoácidos
 - El conjunto de todas las proteínas de un organismo se denomina genoma

4. La evolución consiste en:
 - a) Herencia de genes
 - b) Variación de genes
 - c) Selección de algunas variantes de genes
 - d) Todas las respuestas son correctas

5. Señala la afirmación correcta:
 - a) La replicación es el paso de DNA a RNA
 - b) La transcripción es el paso de DNA a RNA
 - c) La traducción es el paso de DNA a proteínas
 - d) La transcripción es el paso de DNA a proteínas

6. ¿Qué nombre reciben los genes que tienen una secuencia similar y comparten la misma función?
 - a) Genes homólogos
 - b) Genes recesivos
 - c) Genes reguladores
 - d) Genes ligados

7. ¿A qué tipo de mutación corresponde el siguiente cambio: TCCTAT --> TCCAT?
 - a) Inserción
 - b) Deleción
 - c) Sustitución
 - d) Ninguno de los anteriores

8. ¿Qué cambio ocurre en el siguiente fragmento de ADN: CGATCGT --> CGATGGT?
 - a) Inserción
 - b) Deleción
 - c) Sustitución
 - d) No se produce ninguna mutación

9. Señala la afirmación correcta:
 - a) El ARN tiene los mismos nucleótidos que el ADN: Adenina, Timina, Citosina y Guanina
 - b) El ARN tiene los mismos nucleótidos que el ADN: Adenina, Citosina, Guanina y Uracilo
 - c) Cada 3 nucleótidos del ARN mensajero se codifica un aminoácido
 - d) Dependiendo del tipo de aminoácido, éste está codificado por 1 o varios nucleótidos

10. ¿Qué puede ocurrir si un gen sufre una mutación al introducirse un nuevo nucleótido en su secuencia?
 - a) Cambiaría la secuencia del ADN, pero en ningún caso la de la proteína que produce
 - b) Cambiarían los tripletes del ARN mensajero y, por tanto, la proteína producida podría ser diferente
 - c) No ocurriría nada, ya que siempre que se introduce un nucleótido nuevo se elimina uno antiguo
 - d) Ninguna de las opciones es correcta

Anexo II. Cuestionario posterior. La parte 3 (preguntas de contenidos) es igual que la parte 2 del cuestionario previo.

Escribe un código formado por: inicial del nombre de tu madre, inicial del nombre de tu padre, dos últimas cifras y letra de tu DNI (ej. MM54S):

Parte 1. Señala las emociones que has sentido durante el seminario práctico sobre evolución molecular mediante el uso de analogías (de 1 -nada- a 5 -mucho o intensamente-).

	Intensidad				
	1	2	3	4	5
Alegría					
Satisfacción					
Nerviosismo					
Diversión					
Frustración					
Incertidumbre					
Entusiasmo					
Preocupación					
Confianza					
Aburrimiento					

Parte 2. Si aprender a sumar tiene un valor de 100 para tu vida diaria, ¿qué valor le otorgas, en una escala de 0 a 100, a la práctica realizada para tu futuro como docente de Educación Primaria?