

Las ideas de estudiantes chilenos acerca de la evolución de los seres vivos: ¿qué piensan al término de la enseñanza primaria?

Antonia Larrain , Marisol Gómez , Sebastián Verdugo , Alfonso Bonhomme 

Facultad de Psicología, Universidad Alberto Hurtado. Santiago, Chile. alarrain@uahurtado.cl,
marisolpgm1@gmail.com, verdugosebastian.carrasco@gmail.com, abonhomme@uahurtado.cl

Patricia López 

Facultad de Educación, Universidad Alberto Hurtado. Santiago, Chile. palopez@uahurtado.cl

Paulina Freire , Valeska Grau , Diego Cosmelli 

Escuela de Psicología, Pontificia Universidad Católica de Chile. Chile. pcfriere@uc.cl, vgrau@uc.cl,
dcosmelli@uc.cl

[Recibido: 25 junio 2019. Revisado: 24 abril 2020. Aceptado: 22 noviembre 2020]

Resumen: Conocer las ideas de los estudiantes es el punto de partida para una enseñanza orientada a la comprensión. En relación a la teoría de la evolución por selección natural, un eje estructurante de la biología, sabemos que estudiantes secundarios y universitarios muestran una comprensión limitada, sosteniendo ideas alternativas incluso después de la instrucción. Pero poco sabemos de las ideas de estudiantes de educación primaria, lo que es esencial para la discusión respecto a la organización curricular de este contenido y las estrategias de enseñanzas apropiadas para promover su comprensión. Con el objetivo de describir las ideas de los estudiantes de enseñanza primaria, se realizó un estudio descriptivo en el que participaron 137 estudiantes de entre 11 y 12 años de educación pública en Santiago de Chile. Los estudiantes contestaron una prueba de comprensión de la evolución de los seres vivos y un cuestionario de aceptación de la teoría de la evolución. Los resultados muestran que los estudiantes en un alto porcentaje aceptan la teoría y, aunque existe una proporción que comprende en algún grado conceptos claves, ningún estudiante es capaz de elaborar una explicación coherente. Más aún, se aprecian ideas alternativas reportadas en estudiantes mayores (cambios por necesidad, intencionalidad de los cambios, herencia de rasgos adquiridos, herencia funcional a la sobrevivencia, entre otros), y aparecen otras ideas relevantes de atender, como el cambio evolutivo provocado por la innovación tecnológica humana. Se discuten las implicancias curriculares y pedagógicas de los hallazgos.

Palabras clave: Ideas de estudiantes; Selección natural; Educación primaria; Cuestionario MATE; Teoría de la evolución.

Chilean students' ideas on the evolution of living beings: what do they think at the end of primary education?

Abstract: Knowing students' ideas is the starting point of a comprehension oriented teaching. Regarding natural selection, research show that secondary and undergraduate students sustain a limited understanding, holding misconceptions even after instruction. However, we know little about primary students' ideas on natural selection, which is crucial to discuss, from a curricular and pedagogical point of view, the best ways to prompt its comprehension. We conducted a study aimed at describing primary students' ideas on natural selection. 137 sixth grade students (11 and 12 years of age) of public education in Santiago, Chile, participated in the study. Students answered a test on evolution and a questionnaire of theory of evolution acceptance. Results show that overall students accept the theory of evolution and, although in some degree they understand some related and key concepts, they are not able to formulate coherent explanations. Moreover, misconceptions already reported in older students emerged (need, intentionality, heredity of acquired traits, heredity of useful traits, among others), along with interesting new ideas, as the change as provoked by technological changes induced by humans. Implications for pedagogical practice and curriculum organization are discussed.

Keywords: Student' ideas; Natural selection; Primary education; MATE questionnaire; Theory of evolution.

Para citar este artículo: Larrain A., López P., Gómez M., Verdugo S., Freire P., Grau V., Cosmelli D. y Bonhomme A. (2021) Las ideas de estudiantes chilenos acerca de la evolución de los seres vivos: ¿qué piensan al término de la enseñanza primaria?. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 18(1), 1106. doi: 10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1106

Introducción

Las ideas previas de los y las estudiantes (en adelante los estudiantes) son particularmente relevantes en la enseñanza y aprendizaje de ciencias, puesto que, para parte importante del conocimiento científicamente aceptado que se ha definido socialmente que debe ser aprendido, los estudiantes ya sostienen visiones basadas en su experiencia cotidiana y en el uso no especializado del lenguaje. Según Jiménez-Aleixandre (2009), este sería uno de los principales desafíos para la enseñanza de las ciencias, e implicaría que más que formar significados nuevos, el aprendizaje de las ciencias se trataría de transformar *conceptos cotidianos* en *conceptos científicos* (Vygotski 1934/1997). Esta visión del aprendizaje discute la noción empirista que ha predominado en la enseñanza de las ciencias a lo largo de la historia (Driver, Newton y Osborne 2000), pues para llegar a comprender los conceptos y teorías científicamente aceptadas en un punto del tiempo, no basta con observar y obtener información del medio, o escuchar e incorporar información, incluso cuando esta información se trate de explicaciones expertas (Webb, Troper y Fall 1995). Comprender conceptos científicos involucra reescribir el propio pensamiento, algo que es extremadamente complejo. De esta manera, la enseñanza de las ciencias, requiere la recreación de las ideas científicas a través de la consideración seria y discusión de ideas alternativas, a través de la argumentación y contra-argumentación (Larrain, Freire, López y Grau, 2019), de manera que los estudiantes exploren y relacionen sus ideas y lleguen a reconstruir las comprensiones científicamente aceptadas en un momento histórico dado. En palabras sencillas: las ideas alternativas de los estudiantes no son un *obstáculo* (Bishop y Anderson, 1990; Larkin, 2012), sino que son la única oportunidad para formar conceptos científicos.

En términos de la enseñanza de la biología, la Teoría de la Evolución es probablemente uno de los temas claves en que la representación y consideración de las ideas de los estudiantes es más urgente, por ser considerado un eje estructurante de la comprensión de la biología (Bermúdez 2015; Dobzhansky 1973) y por involucrar debates que no se pueden dar por extinguidos en la actualidad (Tamayo y González 2005; Vásquez-ben y Bugallo-Rodríguez 2018). Más aún, existe un alto grado de incompreensión y baja aceptación de la teoría entre estudiantes (secundaria y universitarios) y docentes (Cofré, Jiménez, Santibáñez y Vergara 2016). Más que una teoría unificada, la Teoría de la Evolución es un constructo que supone diversos conceptos y teorías relacionadas como: adaptación, variación intraespecie, limitación de recursos, sobrevivencia del más apto, origen de rasgos nuevos, selección natural, extinción, ancestro común, herencia, entre otros (Blackwell, Powell y Dukes 2010). Esto hace que la comprensión de la Teoría de la Evolución más que un objetivo pedagógico de corto plazo o único de un docente en un punto de la trayectoria escolar o universitaria, sea un desafío concertado de distintos niveles educativos (Vásquez-ben y Bugallo-Rodríguez 2018).

En el mundo anglosajón desde los años 90' se han venido estudiando las ideas y preconcepciones de los estudiantes respecto de la Teoría de la Evolución y el rol de la selección natural en ésta, especialmente en estudiantes secundarios y universitarios (Bishop y Anderson 1990; Demastes, Settlage y Good 1995; Gregory 2009; Hokayem y BouJaoude 2008; Kumandas, Ateskan y Lane 2018; Nehm y Reilly 2007). Estudios con estudiantes primarios son escasos (Basel, Harms, Precht, Weiß y Rothgangel 2013; To, Tenenbaum y Hogh 2017; Zabel y Gropengiesser 2011), y estudios con estudiantes Latinoamericanos son más recientes (Cofré *et al.* 2016; 2018; González Galli y Meinardi 2015; Millán, Carmona y Zárate 1997;

Moreno, Zuñiga, Cofré y Merino 2018; Rivas y González 2016), focalizados también principalmente en estudiantes de enseñanza secundaria, universitaria y docentes en formación. En su conjunto estos estudios han mostrado que los estudiantes tienden a pensar que los cambios evolutivos ocurren por la necesidad de nuevos rasgos para la sobrevivencia; que se relacionan con el cumplimiento de propósitos, funciones o fines; que son fruto de esfuerzos individuales conscientes; que se relacionan con el uso o desuso de los rasgos; que implica la herencia de características aprendidas o adquiridas a lo largo de una vida; que los cambios ocurren sin tomar en cuenta la variación individual (intraespecie); que los cambios se deben al cambio gradual de los rasgos en sí mismos; entre otros. Además, estudios muestran otro tipo de concepciones y creencias que son importantes de tener en cuenta porque también determinan y pueden obstaculizar, junto con el grado de comprensión (Skolnick, Landrum, Metz y Weisberg 2018), el grado de aceptación que los estudiantes tienen de la teoría y, eventualmente, su comprensión. Estas incluyen nociones acerca de la naturaleza de la ciencia – por ejemplo, la noción de teoría científica, o el rol del método experimental (Cofré *et al.* 2018; Lombrozo, Thanukos y Weisberg 2008) y concepciones filosófico-religiosas – como la idea de que los seres vivos son frutos de un solo acto creador (Hokayem y BouJaoude 2008).

Aunque en países europeos conceptos claves para entender la teoría de la evolución y selección natural se enseñan en educación primaria (Vásquez-ben y Bugallo-Rodríguez 2018), en países como Chile los primeros contenidos relacionados se incluyen en primer año de enseñanza secundaria (15 años) cuando se trabaja la selección natural, lo que parece ya bastante tarde. Aún más, las nociones de herencia y genética, se trabajan aún más tarde (16 años). Sin embargo, la mayoría de los estudios disponibles describen las creencias y conocimientos de estudiantes de secundaria o mayores, lo que impide a los docentes de cursos previos saber si sus estudiantes comparten estas creencias y concepciones o no, dificultando la integración y anticipación de discusiones relevantes para prepararlos mejor para la instrucción de la selección natural y evolución. Para contribuir con esta brecha de conocimiento, y favorecer la anticipación por parte de docentes de las ideas de sus estudiantes para diseñar la enseñanza, el presente estudio tuvo como objetivo describir las ideas acerca de evolución de seres vivos de estudiantes de sexto año de enseñanza básica (12 años) en Chile. La pregunta de investigación que guio el estudio fue: ¿cómo comprenden y se explican la evolución de los seres vivos los estudiantes de sexto año de educación primaria en establecimientos educacionales públicos en Santiago de Chile?

Metodología

Para responder la pregunta del estudio, se desarrolló un estudio descriptivo de corte transversal. Se aplicaron dos instrumentos en un mismo momento del tiempo, entre mayo y agosto de 2018: una prueba de aprendizaje y un cuestionario de aceptación de la Teoría de la Evolución. La prueba de aprendizaje se adaptó del instrumento usado por Asterhan y Dotan (2018), y con permiso de las autoras, se piloteó en una muestra de estudiantes de sexto básico en el año 2017 (ver Figura 1). Se realizaron análisis descriptivos tanto de frecuencias como del contenido de las respuestas de estudiantes de la muestra definitiva.

Participantes

En el pilotaje de la prueba de aprendizaje, participaron 106 estudiantes (72 mujeres) de sexto año básico (11-12 años) de tres establecimientos subvencionados de la Región Metropolitana, Chile. En la aplicación definitiva participaron 137 estudiantes (62 mujeres) de sexto año básico (11-12 años) de siete establecimientos municipales de la misma región. Los establecimientos atendían una importante proporción de estudiantes vulnerables (entre 35% y 75%), y su rendimiento en la prueba que mide a nivel nacional conocimientos (SIMCE) en ciencias

naturales en octavo año de primaria era equivalente entre sí (bajo el promedio nacional). Del total de estudiantes de la aplicación definitiva, un 20% eran primera generación de inmigrantes, en su gran mayoría de países hispano hablantes. Para invitar a participar a los estudiantes, tanto para el pilotaje como para la aplicación definitiva, primero se contactó a directores de establecimientos quienes autorizaron el proceso de consentimiento y asentimiento informado, que se realizó con apoyo de los y las docentes (en adelante los) a cargo de los respectivos cursos. Los estudiantes participantes de la muestra definitiva, quienes entregaron su asentimiento y el consentimiento de sus padres, representan el 57.5% del total de estudiantes matriculados en las respectivas clases.

Recolección de datos

La recolección de datos estuvo a cargo de los docentes de ciencias naturales de los respectivos establecimientos educacionales, quienes aplicaron tanto la prueba como el cuestionario en sesiones regulares de clases (una sesión para cada instrumento). Mientras todos los estudiantes contestaron la prueba de aprendizaje, solo una parte de la muestra (81 estudiantes) contestó el cuestionario de aceptación de teoría de la evolución. Esto se debió a ausencias al momento de la aplicación de este instrumento. A continuación se describen los instrumentos.

Prueba de conocimiento evolución seres vivos

Para evaluar el grado de conocimiento y comprensión de la evolución de seres vivos se tradujo, piloteó y adaptó un instrumento desarrollado por Asterhan y Dotan (2018). La prueba original consiste en un total de 12 ítems repartidos en la descripción de dos situaciones (iguanas de las Islas Galápagos y los peces Guppy), a partir de las cuales se hacen afirmaciones (cinco y seis respectivamente). El estudiante debe escoger si las afirmaciones son correctas o incorrectas y justificar sus respuestas. Además incluye un ítem en donde se le pide a los estudiantes explicar por qué los guepardos en las actualidad correrían más rápido que sus antepasados. Esta prueba fue traducida por el equipo de investigación del inglés al español, y piloteada primero con seis estudiantes para revisar cuestiones básicas de comprensión. Luego se envió a la validación de tres expertos en didáctica de la teoría de la evolución, quienes hicieron recomendaciones, en su mayoría, de adaptación de lenguaje. Una de estas incluía cambiar la pregunta del guepardo por un caso de evolución en humanos con una estructura similar a la usada por el test ACORNS (Nehm, Beggrow, Opfer y Ha 2012, traducido por Cofré *et al.*, 2016). La versión adaptada fue piloteada con 106 estudiantes (ver Figura 1).

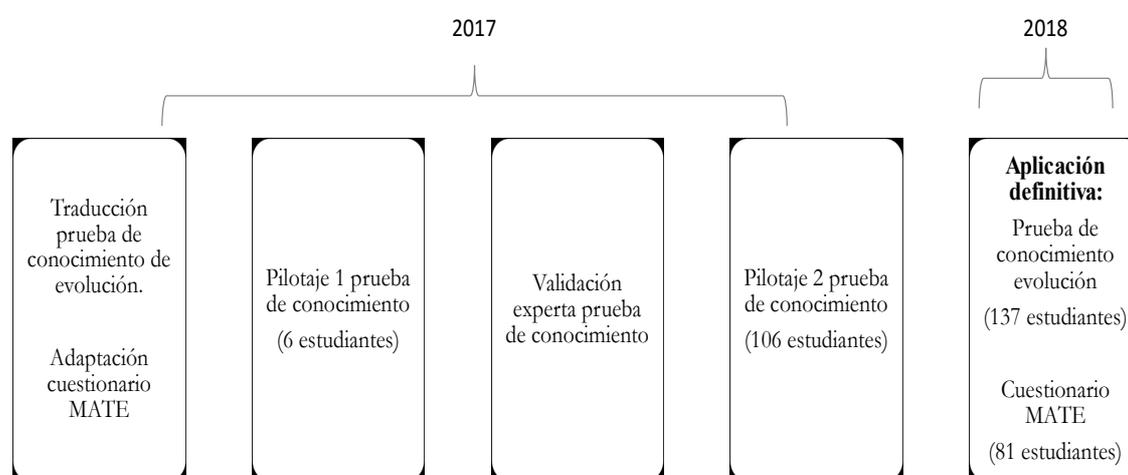


Figura 1. Proceso de recolección de información.

La versión final incorpora 12 ítems¹: once donde los estudiantes deben decidir si las afirmaciones son correctas o no, y justificar su respuesta; y uno donde deben explicar un cambio evolutivo en humanos (ver lista de afirmaciones y preguntas en Tabla 1). En su conjunto los ítems evalúan la comprensión de: variabilidad intraespecie, origen de los cambios, herencia, sobrevivencia del más apto, carácter poblacional de los cambios de rasgos y el uso de todos estos principios para dar cuenta del mecanismo de selección natural, además de evaluar la presencia de ideas alternativas como: la no existencia de variabilidad, la herencia de rasgos aprendidos, el rol de la necesidad de adaptación individual en los cambios, el carácter tipológico (no proporcional) de los cambios (ver ejemplos de respuestas de estudiantes en Figuras 2 y 3).

La corrección de los once ítems de respuesta dicotómica (correcto/incorrecto) la realizó un psicólogo educacional a partir de claves de corrección. Luego, dos psicólogos educacionales especialmente entrenados por la segunda autora codificaron las justificaciones de los estudiantes en base a una rúbrica que recogía las concepciones de estos en torno a los siguientes principios o conceptos: variabilidad intraespecie, origen de los cambios, herencia, sobrevivencia del más apto, carácter poblacional de los cambios de rasgos, y selección natural; y la presencia de las siguientes ideas alternativas: la no existencia de variabilidad, la herencia de rasgos aprendidos, el rol de la necesidad de adaptación individual en los cambios, el carácter tipológico (no proporcional) de los cambios. Para la codificación de las justificaciones de los estudiantes, se realizó un proceso de confiabilidad entre codificadores. Los codificadores codificaron ambos juntos 39.7% de las pruebas en siete rondas sucesivas de corrección. Los desacuerdos fueron discutidos llegando a acuerdos en cada caso. Luego, cada codificador corrigió la mitad del resto de las pruebas (60,3%). En la última ronda, un código se consideró solo aceptable ($K > .43$), uno bueno ($K > .62$), dos muy buenos ($K > .75$) y el resto sobresalientes ($K = 1$). Finalmente, las respuestas al ítem n° 12 fueron codificadas siguiendo un procedimiento de codificación abierta, para categorizar el tipo de explicaciones dadas por los estudiantes.

Tabla 1. Preguntas prueba de conocimiento evolución de seres vivos

N°	Situación	Afirmaciones/Preguntas
1	Iguanas	Si se observa las iguanas marinas que viven hoy en islas Galápagos, éstas tienen muchas características en común entre sí, pero también tienen diferencias entre ellas.
2		Las primeras diferencias en el cuerpo de las iguanas, las cuales les permitieron nadar, aparecieron accidentalmente, es decir, por azar.
3		Las iguanas que poseen el sentido de la audición, es decir, que pueden escuchar, les transmiten esta información genética a sus descendientes (a sus crías), a pesar de que no les da una ventaja para la supervivencia.
4		Las iguanas que aprendieron durante su vida a mover la cola para avanzar en el agua transferirán este rasgo a sus descendientes.
5		Es probable que las iguanas menos exitosas en la competencia por encontrar refugio hayan sido encontradas fácilmente por sus depredadores.
6	Peces Guppy	Todos los peces Guppy que se encuentran en un mismo curso de agua y son de una misma generación poseen los mismos colores.
7		Cuando se transfiere un grupo de peces Guppy a un acuario sin depredadores, el número de individuos de colores de toda la población aumenta de a poco a través de las generaciones.
8		Los peces Guppy cambiaron su color para sobrevivir en un lugar donde hay gran cantidad de depredadores.

¹ El instrumento completo puede ser solicitado a la autora correspondiente del artículo.

Tabla 1. Continuación

Nº	Situación	Afirmaciones/Preguntas
9	Peces Guppy	Los peces Guppy les transmitirán a sus descendientes (a sus crías), y éstos a los suyos, solo la característica de color más llamativo, porque les sirve para llamar la atención de las hembras.
10		Los comportamientos aprendidos durante la vida de los peces Guppy (como esconderse de los depredadores) no pueden ser heredados por su descendencia.
11		Cuando se traslada un grupo de peces Guppy (machos y hembras) a un acuario sin depredadores, en cada generación los machos tendrán su cuerpo un poco más colorido que el de sus padres.
12	Primeros humanos	¿Cómo se puede explicar que los primeros seres humanos han evolucionado hacia la pérdida del pelo del cuerpo, rasgo que la mayoría de sus ancestros sí parecía tener?

c. Lee atentamente el texto a continuación:

Cambios en los primeros humanos

Los primeros seres humanos empezaron a ocupar zonas soleadas y con poca sombra hace aproximadamente 1,7 millones de años.

Algunos científicos postulan que la pérdida del pelo del cuerpo y la aparición de piel oscura podrían ser de esa misma época.



12. En tu opinión, ¿Cómo se puede explicar que los primeros seres humanos han evolucionado hacia la pérdida del pelo del cuerpo, rasgo que la mayoría de sus ancestros sí parecía tener?

Explicación:

Por la piel oscura el pelo se fue cayendo y las características físicas fueron cambiando

Figura 2. Ejemplo de ítem explicación, prueba conocimientos evolución de seres vivos y respuesta.

a. Lee atentamente el texto a continuación:

La Iguana Marina

En las Islas Galápagos vive una iguana de una especie muy particular, la iguana marina, que se diferencia de la iguana terrestre, de la cual es pariente cercana.

Comparadas con las iguanas de tierra, las de mar son excelentes nadadoras. Las iguanas marinas nadan hasta las profundidades del mar buscando algas, de las cuales se alimentan.



A continuación, se presentan varias afirmaciones. En base al texto y a lo que tú sabes, en cada afirmación encierra en un círculo la palabra "CORRECTO" (si consideras que la afirmación es verdadera) o "INCORRECTO" (si consideras que la afirmación es falsa). Luego explica tu elección, tanto si crees que es CORRECTO como si crees que es INCORRECTO.

1. Si se observa las iguanas marinas que viven hoy en islas Galápagos, éstas tienen muchas características en común entre sí, pero también tienen diferencias entre ellas.

CORRECTO / INCORRECTO

Explicación:

Correcto por que si tienen diferencias la iguana marina nada mucho mejor que la iguana terrestre tra diferencias en su cuerpo son diferentes

2. Las primeras diferencias en el cuerpo de las iguanas, las cuales les permitieron nadar, inicialmente, es decir, por azar.

CORRECTO / INCORRECTO

Explicación:

no es por la adaptación que es por que algunas comieron si parientes comidos y los otros no comidos y comidos

3. Las iguanas que poseen el sentido de la audición, es decir, que pueden escuchar, les transmiten esta información genética a sus descendientes (a sus crías), a pesar de que no les da una ventaja para la supervivencia.

CORRECTO / INCORRECTO

Explicación:

yo creo que es incorrecto más dicen nada a sus crías

4. Las iguanas que aprendieron durante su vida a mover la cola para avanzar en el agua transferirán este rasgo a sus descendientes.

CORRECTO / INCORRECTO

Explicación:

creo que es correcto más que las habilidades son pasando de generación a generación

Figura 3. Ejemplo de ítems prueba conocimientos evolución de seres vivos y respuestas.

Aceptación teoría de la evolución

Se adaptó la versión traducida por Cofré *et al.* (2016) del cuestionario MATE (Rutledge y Warden 2000) de manera de hacerlo comprensible a estudiantes de 11-12 años. Se eliminaron siete ítems por considerar que su grado de complejidad excedía el nivel de comprensión de los estudiantes de sexto grado. Los 13 ítems finales se presentan en la Tabla 2. Los estudiantes tenían que expresar su grado de acuerdo con las afirmaciones en una escala de 1 a 5.

Tabla 2. Cuestionario aceptación teoría de la evolución adaptado

	Ítems
1	Las especies han cambiado a través del tiempo.
2	Las especies que existen hoy, no siempre existieron.
3	Los seres vivos que existen hoy son de la misma forma que han sido siempre.
4	Los seres vivos de la tierra se originaron todos al mismo tiempo.
5	La evolución es una teoría científica válida.
6	Los seres vivos que existen hoy son el resultado de procesos evolutivos que han ocurrido durante millones de años.
7	La selección natural es la mejor explicación para entender cómo las especies se adaptan a su medio ambiente.
8	Existen muchos descubrimientos o hallazgos que apoyan la teoría de la evolución.
9	La formación de la especie humana se explica diferente a cómo se explica la formación de las otras especies.
10	Los seres humanos existen hoy en día de la misma forma en que han existido siempre.
11	Los seres humanos modernos son producto del proceso de evolución que ha tenido lugar durante millones de años.
12	La teoría de la evolución no puede ser correcta, ya que no está de acuerdo con el relato bíblico de la creación.
13	Creo que Dios creó a todos los seres vivos de la tierra.

Un psicólogo educacional corrigió los cuestionarios, codificando entre 1 (muy en desacuerdo) y 5 (muy de acuerdo) puntos cada respuesta. El rango teórico del cuestionario fue de 0 – 65.

Resultados

Aceptación teoría de la evolución

La Tabla 3 resume la frecuencia de respuestas en cada ítem del cuestionario. Como se observa en esta y la Figura 4, existe un alto grado de acuerdo (acuerdo + muy de acuerdo) con todos los ítems coherentes con la teoría de la evolución mediante selección natural (entre un 85,1% y 51%). Sin embargo, se observan aspectos llamativos, como que aunque una gran mayoría de estudiantes reconocen que las especies han cambiado (86,2%), un porcentaje bastante menor acepta que las especies que existen hoy no siempre han existido (51,2%). En general, se observa un importante grado de acuerdo con las afirmaciones que apoyan la teoría de la evolución y selección natural como explicaciones científicas válidas y basadas en evidencia. Es interesante observar, sin embargo, que un 46% no está de acuerdo (muy en desacuerdo + en desacuerdo) con que la evolución humana se explique igual que la evolución del resto de las especies (ver Figura 5). Por último, un porcentaje importante de los estudiantes (62,5%) creen que Dios creó a todos los seres vivos de la tierra, pero eso no necesariamente impide mayoritariamente en este caso aceptar aseveraciones coherentes con la teoría de la evolución.

Tabla 3. Distribución de respuestas de estudiantes en ítems de cuestionario MATE en términos de frecuencia y porcentaje ($n = 81$).

	Muy en desacuerdo	De acuerdo	Ni acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Muy de acuerdo
1. Las especies han cambiado a través del tiempo	2(2,5%)	2(2,5%)	8(9,9%)	38(46,9%)	31(38,3%)
2. Las especies que existen hoy, no siempre existieron.	9(11,1%)	8(9,9%)	23(28,4%)	23(28,4%)	18(22,2%)
3. Los seres vivos que existen hoy son de la misma forma que han sido siempre.	7(8,6%)	9(11,1%)	22(27,1%)	30(37%)	13(16%)
4. Los seres vivos de la tierra se originaron todos al mismo tiempo.	4(4,9%)	8(9,9%)	15(18,5%)	30(37%)	23(28,4%)
5. La evolución es una teoría científica válida.	6(7,4%)	2(2,5%)	16(19,8%)	33(40,7%)	24(29,6%)
6. Los seres vivos que existen hoy son el resultado de procesos evolutivos que han ocurrido durante millones de años.	5(6,2%)	6(7,4%)	16(19,8%)	24(29,6%)	30(37%)
7. La selección natural es la mejor explicación para entender cómo las especies se adaptan a su medio ambiente.	3(3,7%)	6(7,4%)	16(19,8%)	35(43,2%)	20(24,7%)
8. Existen muchos descubrimientos o hallazgos que apoyan la teoría de la evolución.	2(2,5%)	3(3,7%)	17(21%)	32(39,5%)	26(32,1%)
9. La formación de la especie humana se explica diferente a cómo se explica la formación de las otras especies.	12(14,8%)	25(30,8%)	22(27,1%)	11(13,5%)	9(11,1%)
10. Los seres humanos existen hoy en día de la misma forma en que han existido siempre.	13(16%)	14(17,2%)	20(24,6%)	16(19,7%)	17(21%)
11. Los seres humanos modernos son producto del proceso de evolución que ha tenido lugar durante millones de años.	8(9,9%)	10(12,3%)	14(17,3%)	30(37%)	18(22,2%)
12. La teoría de la evolución no puede ser correcta, ya que no está de acuerdo con el relato bíblico de la creación.	4(4,9%)	13(16%)	33(40,7%)	9(11,1%)	21(25,9%)
13. Creo que Dios creó a todos los seres vivos de la tierra.	8(9,9%)	10(12,3%)	14(17,2%)	14(17,3%)	34(41,9)

Frecuencia de estudiantes según grado de acuerdo en ítems de cuestionario MATE cuyo acuerdo refleja aceptación de la teoría de evolución

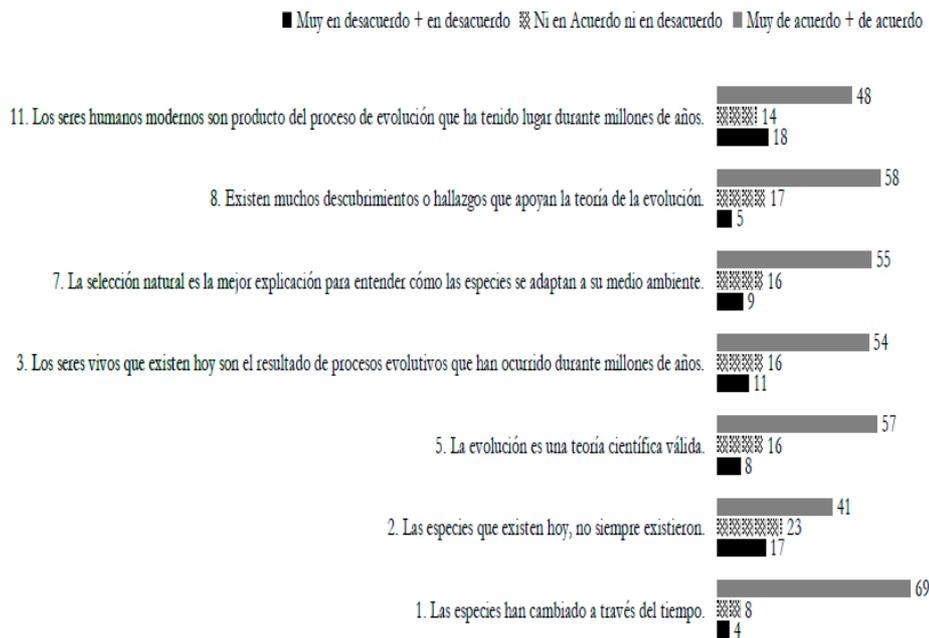


Figura 4. Frecuencia de respuestas de estudiantes en cuestionario MATE, según grado de acuerdo en cada uno de los ítems que expresan mayor aceptación a mayor grado de acuerdo (n = 81)

Frecuencia de estudiantes según grado de acuerdo en ítems de cuestionario MATE cuyo desacuerdo refleja aceptación de la teoría de evolución

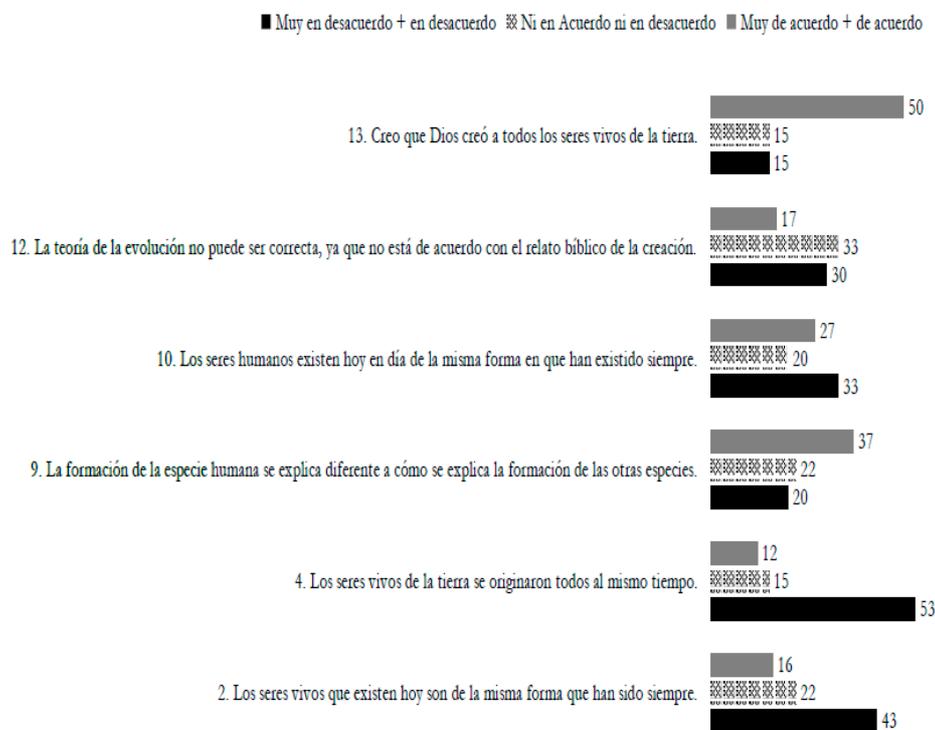


Figura 5. Distribución respuesta de estudiantes en cuestionario MATE, según grado de acuerdo en cada uno de los ítems que expresan menor aceptación a mayor grado de acuerdo (n = 81)

Prueba de conocimiento de evolución de seres vivos

A continuación se presentan los resultados de la prueba de conocimiento. Primero se presenta la distribución de las respuesta correctas de estudiantes según cada ítem de la prueba de respuesta dicotómica (correcto/incorrecto). Luego se presenta la codificación de las justificaciones de estudiantes de acuerdo a los distintos conceptos involucrados. Por último, se presenta el resultado de la categorización abierta del ítem 12.

Como se puede observar en la Tabla 4 y Figura 6, y como es esperable, en general los distintos aspectos de la evolución de seres vivos presentan dificultades para estudiantes de este nivel: en promedio un 43,8% de los estudiantes se posicionan correctamente respecto a los distintos ítems. Sin embargo, esa dificultad varía según los conceptos o principios involucrados y la situación (iguana o Guppy). Por ejemplo, si bien la mayoría de los estudiantes afirman la variabilidad intraespecie en el caso de las iguanas de las Islas Galápagos (ítem 1), un menor porcentaje lo hace para los peces Guppy (ítem 6). Por otro lado, si bien reconocer la existencia de un cambio gradual en la población a lo largo de generaciones dados ciertos cambios en el ambiente (ítem 7) se acepta por un 62,8% de los estudiantes, el origen de los cambios genera mayor complejidad (ítem 2 y 8). En el caso de la herencia, si bien un número considerable (54,7%) de estudiantes acepta que los rasgos se traspasan de generación en generación (ítem 3), un porcentaje bastante menor entiende que lo que se aprende no se hereda (ítem 4 y 10), y un 19,7% acepta que no solo se heredan rasgos útiles para la sobrevivencia (ítem 9).

Tabla 4. Distribución de estudiantes según posicionamiento a afirmaciones

	Nº de estudiantes que responden correctamente	% de estudiantes que responden correctamente
1. Si se observa las iguanas marinas que viven hoy en islas Galápagos, éstas tienen muchas características en común entre sí, pero también tienen diferencias entre ellas.	112	81,8%
2. Las primeras diferencias en el cuerpo de las iguanas, las cuales les permitieron nadar, aparecieron accidentalmente, es decir, por azar.	24	17,5%
3. Las iguanas que poseen el sentido de la audición, es decir, que pueden escuchar, les transmiten esta información genética a sus descendientes (a sus crías), a pesar de que no les da una ventaja para la supervivencia.	75	54,7%
4. Las iguanas que aprendieron durante su vida a mover la cola para avanzar en el agua transferirán este rasgo a sus descendientes.	30	21,9%
5. Es probable que las iguanas menos exitosas en la competencia por encontrar refugio hayan sido encontradas fácilmente por sus depredadores.	77	56,2%
6. Todos los peces Guppy que se encuentran en un mismo curso de agua y son de una misma generación poseen los mismos colores.	78	56,9%
7. Cuando se transfiere un grupo de peces Guppy a un acuario sin depredadores, el número de individuos de colores de toda la población aumenta de a poco a través de las generaciones.	86	62,8%
8. Los peces Guppy cambiaron su color para sobrevivir en un lugar donde hay gran cantidad de depredadores.	46	33,6%
9. Los peces Guppy les transmitirán a sus descendientes (a sus crías), y éstos a los suyos, solo la característica de color más llamativo, porque les sirve para llamar la atención de las hembras.	27	19,7%

Tabla 4. Continuación

	Nº de estudiantes que responden correctamente	% de estudiantes que responden correctamente
10. Los comportamientos aprendidos durante la vida de los peces Guppy (como esconderse de los depredadores) no pueden ser heredados por su descendencia.	46	33,6%
11. Cuando se traslada un grupo de peces Guppy (machos y hembras) a un acuario sin depredadores, en cada generación los machos tendrán su cuerpo un poco más colorido que el de sus padres.	60	43,8%
Promedio	30	43,9%

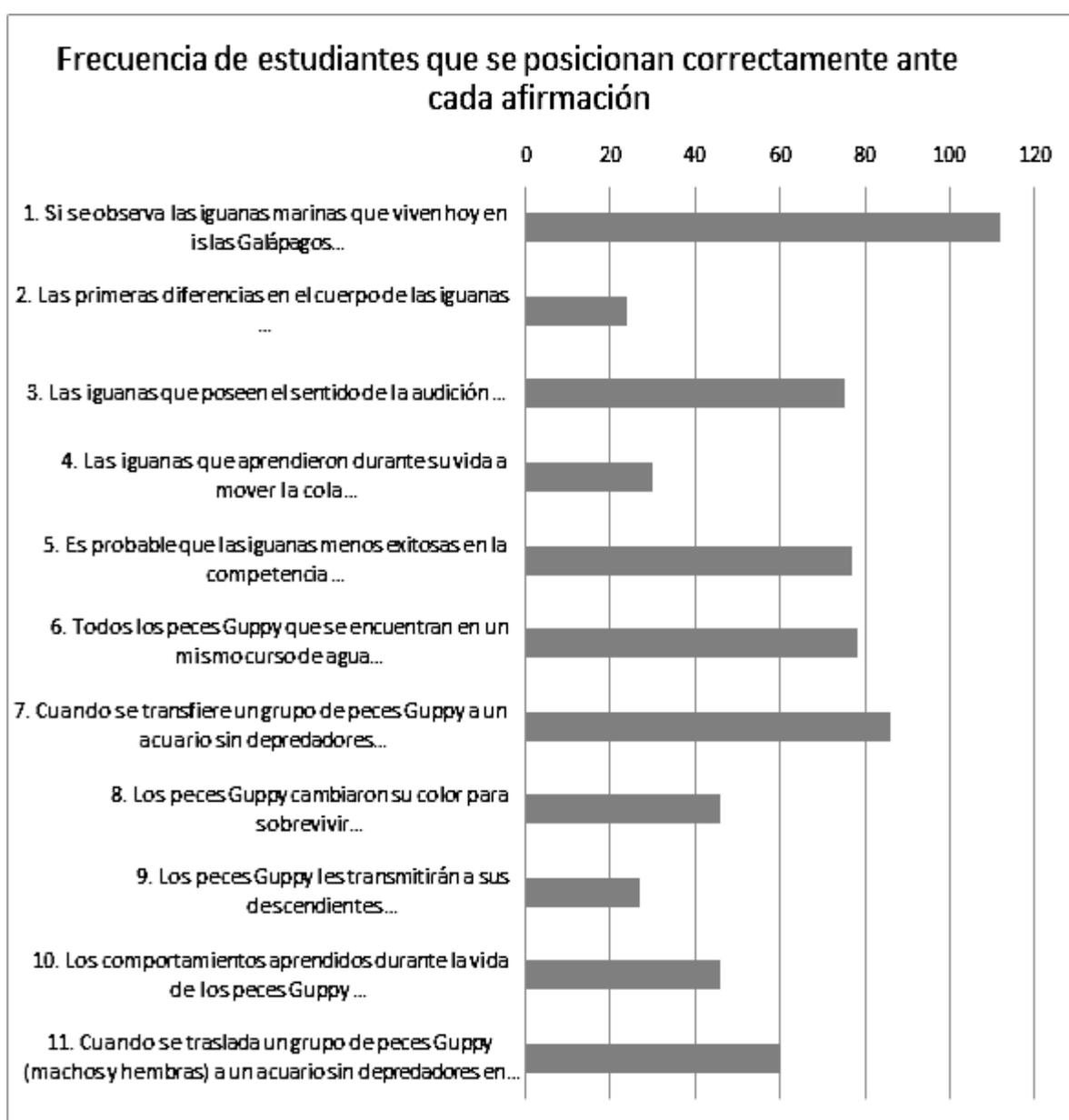


Figura 6. Frecuencia de estudiantes según se posicionan correctamente respecto a los ítems de la prueba ($n = 137$)

Al analizar las justificaciones de los estudiantes, aparecen aspectos adicionales de interés. Respecto a la noción de variabilidad intraespecie, un 56,4% de los estudiantes presentan evidencias de que reconocen este tipo de variabilidad, lo que es coherente con las respuestas antes presentadas. Respecto a ideas alternativas, un 14,5% de los estudiantes presentan evidencias de que piensan que los organismos dentro de una misma especie son todos iguales (ver Figura 7).

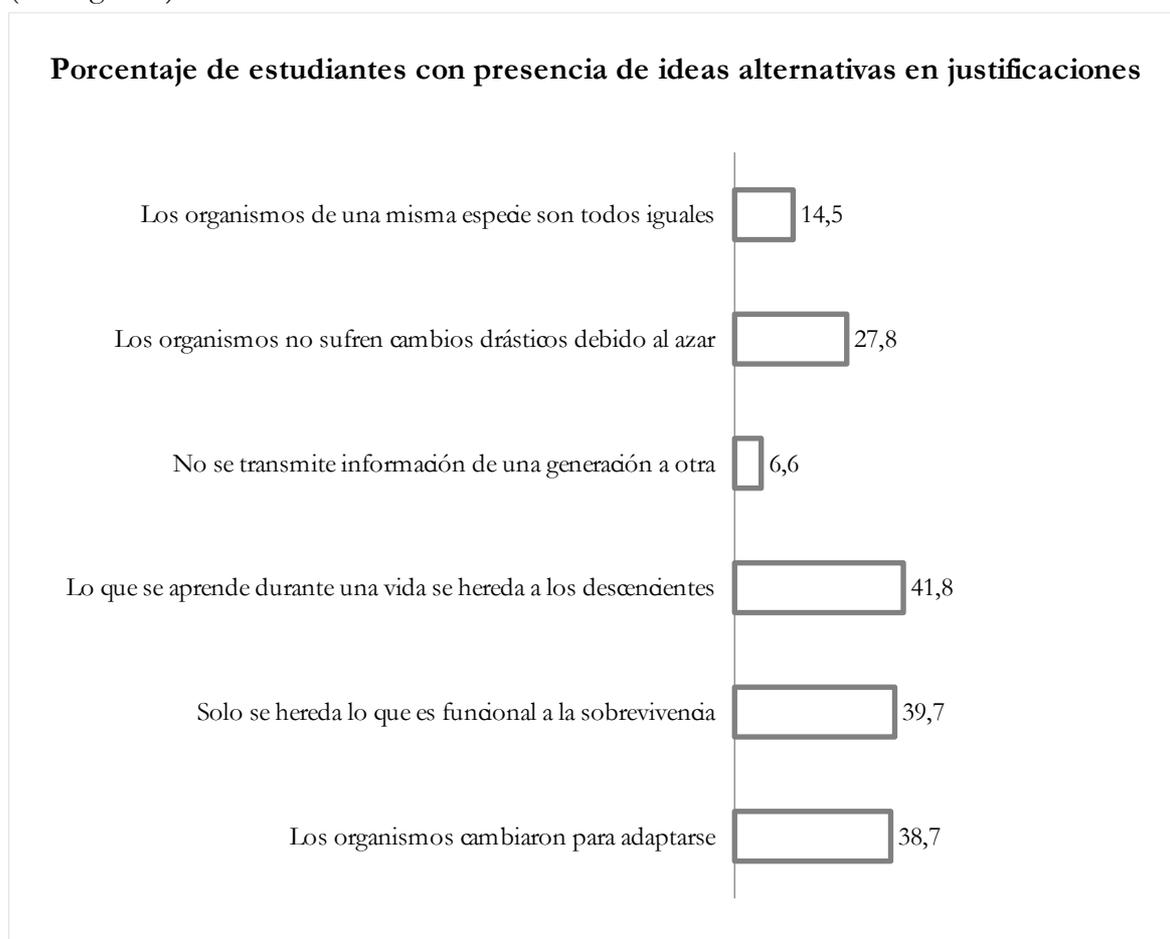


Figura 7. Porcentaje de estudiantes que presentan evidencias de distintas ideas alternativas en sus justificaciones.

Respecto al origen de los cambios, las justificaciones de los estudiantes expresan la dificultad con la comprensión de este principio que ya se apreciaba en las respuestas antes analizadas: mientras un 7,9% reconoce la existencia de cambios abruptos y drásticos en los organismos, solo un 4% entrega evidencias de que reconoce la mutación como el origen de cambios azarosos. En relación a ideas alternativas, un 27,8% de los estudiantes presentan evidencias de que piensan que los organismos no sufren cambios azarosos a través del tiempo (ver Figura 7).

Cuando se observan las justificaciones de estudiantes respecto a la noción de herencia, se observa que un 39,7% de los estudiantes entrega evidencias de que cree que solo se hereda lo que es funcional para la sobrevivencia (ver Figura 7) y un 41,8% de los estudiantes entrega evidencias de que lo que se aprende durante la vida se hereda a los descendientes. Pocos estudiantes (6,6%) creen que no se transmite información de una generación a otra.

Respecto al análisis de las explicaciones de la pregunta número 12, que aborda el mecanismo de selección natural en su conjunto, ningún estudiante formula una explicación coherente y completa del mecanismo, y en un 38,7% de las respuestas se evidencia la creencia de que los cambios evolutivos obedecen a la necesidad de adaptarse (ver Figura 7).

La codificación abierta de las explicaciones de los estudiantes respecto a la pérdida de pelo de humanos (ítem 12), revela que estos o no combinan o combinan máximo dos principios (origen de los cambios y herencia) para explicar la pérdida de pelo corporal, centrandó su explicación en alguno de éstos. Aparecen cinco categorías:

Cambios por necesidad

Esta tipo de explicación incluye, como es esperable, explicaciones que sostienen que la pérdida de pelo ocurre por cambios ocurridos en respuesta a la necesidad de sobrevivencia, incluyendo algunas veces la idea de que lo que no se necesita se deja de usar y desaparece:

«Cosas como pérdidas de pelo, tal vez genéticamente el cuerpo desechó aquello que para la vida humana no era necesario»

«Porque empeoró el calor en su hábitat porque antes hacía mucho frío en esos tiempos que sus antepasados lo necesitaban y ahora no»

«Porque se estaban adaptando al clima que había, como era soleado, se adaptaban a ese calor y botaban los pelos por la temperatura»

«Una manera de refrescarse y resistir la insolación»

«Porque cambió de forma por necesidad y evolucionó»

«Para adaptarse a la vida moderna y para atraer presas»

«Los humanos perdieron el pelo ya que creo que al ser más formales psicológicamente también lo tenían que ser físicamente»

Cambios dirigidos por un propósito

En algunos casos esta necesidad está pensada como un propósito que se consigue voluntariamente, en el que la ciencia y tecnología juegan un rol importante en la medida que entregan más recursos que permiten dirigir voluntariamente los cambios en dirección de una mayor adaptación:

«Es que los seres humanos se están dando cuenta de que necesitan más ropa», «mediante la inteligencia han ido evolucionando»

«Porque a lo mejor los pelos eran para cuidarse del frío y las cosas del exterior ya que no tenían casas ni nada, en cambio comenzaron a desarrollar su inteligencia y lograron hacer muchas cosas»

«Es que los científicos lo han logrado»

«por la tecnología y el científico lo dijeron»

Cambios como evolución espontánea

Existen estudiantes que explican los cambios de manera poco problemática, ya sea simplemente como efecto del paso del tiempo, como efecto de diferencias genéticas que determinan menos capacidades, o por el hecho que los antepasados eran más primitivos:

«Que ellos tenían mucho pelo y fueron evolucionando y se les fue cayendo»

«Porque a la medida del tiempo van perdiendo el pelo»

«Porque pasando los años los humanos fueron evolucionando y cambiando»

«Porque todo ser vivo evoluciona»

«Es que eran más primitivos y no eran capaces por sus genes»

Cambios por cambio de factores ambientales a lo largo de generaciones

Este tipo de explicación tiene que ver con dar cuenta de los cambios como fruto de cambios ambientales, de costumbres o de formas de vida, sin preguntarse cómo estos cambios se transmitirían de una generación a otra:

«Porque no estaban acostumbrados al sol y a medida que les pegaba el sol se les debilitaba y se les salía (o se les caía)»

«Yo creo que fueron perdiendo el pelo por el calentamiento global»

«Porque empezaron a ocupar zonas soleadas pero sus ancestros no lo hacían»

«Por el cambio surgido en el clima durante largos años»

«A través del tiempo fue mejorando su cuerpo porque ocupaban zonas soleadas» «por el sol te pone más de color negro y se les cae el pelo por el calor»

Cambios por edad o factores asociados a la salud a lo largo de una vida

Los estudiantes también explican estos cambios como fruto del envejecimiento de las personas, y como asociados a factores de salud, confundiendo las escalas temporales de los cambios (onto y filogenética):

«Es porque algunos son viejos, abuelos y abuelas que viven muchos años y pierden el pelo»

«Podrían tener una enfermedad»

Discusión

En general, y como es esperable, los resultados antes expuestos son comparables con hallazgos en estudiantes secundarios y universitarios. Si en jóvenes se encuentra un amplio desconocimiento e incompreensión de la Teoría de la Evolución por selección natural (Bishop y Anderson 1990; Cofré *et al.* 2018; González Galli y Meinardi 2015; Nehm y Reilly 2007; Rivas y González 2016; To, Tenenbaum y Hogh 2017; Zabel y Gropengiesser 2011), los estudiantes de nuestro estudio (11-12 años) no son la excepción. Ahora bien, considerando que la prueba representa una complejidad no despreciable para estudiantes de 11-12 años, es sorprendente que en cierta proporción, en todos los conceptos, un grupo de estudiantes pueda responder correctamente. Sin embargo, como es esperable, ningún estudiante es capaz de combinar los diferentes conceptos en una explicación completa y coherente del mecanismo evolutivo. Variabilidad intraespecie es el concepto menos problemático, pero el origen de los cambios, la proporcionalidad de estos en una población y la noción de herencia, en especial, la idea de herencia de rasgos no adaptativos o no herencia de rasgos aprendidos, son conceptos que los estudiantes conciben con bastante mayor dificultad.

Se observa, entonces, lo que ya reportaba Bishop y Anderson (1990) con estudiantes mayores acerca de la incapacidad de reconocer la selección natural como un proceso de dos etapas: la aparición de rasgos en una población y su sobrevivencia a través del tiempo. Sin embargo, no se trataría de que comprendan cada uno de estos procesos pero fallen en su articulación: no logran ver el proceso en dos etapas porque la comprensión de ambas etapas es altamente problemática. La noción de que los cambios no se originan por necesidad ante cambios ambientales, o uso o desuso, sino por cambios azarosos que no están dirigidos a fines, es casi inexistente, y los pocos estudiantes que lo admiten fallan en articularlo para explicar la evolución de las especies. Lo mismo sucede con la idea de que lo que se adquiere en una vida no se hereda, o que se hereda información independiente de su valor para la sobrevivencia, aunque en un menor grado. De esto resulta exactamente lo reportado por Bishop y Anderson

(1990): una idea poco problemática de que los cambios simplemente ocurren a través del tiempo, relacionado con cambios ambientales o genéticos.

El que ningún estudiante logre elaborar una explicación coherente no deja de llamar la atención, si se compara con el hecho que estudiantes secundarios antes de la instrucción en alguna proporción (baja) logran una explicación coherente (ver Cofré *et al.* 2018), aun incluyendo ideas alternativas. Esto sugiere que la instrucción de conceptos relacionados, ocurrida entre los 12 y 15 años, provee un mejor escenario para la enseñanza de la selección natural (ver To *et al.* 2017), planteando la necesidad de comenzar la introducción de conceptos claves antes en el currículum, como es el caso de países como Francia, Suecia, Reino Unido y Portugal (ver Vásquez-Ben y Bugallo-Rodríguez 2018). De hecho, un estudio realizado en Reino Unido muestra que estudiantes de 7-8 años pueden comprender la lógica seleccionista de la selección natural a partir de una intervención basada en un libro ilustrado (Emmons, Smith y Kelemen 2016). Así, nuestros resultados apoyan la necesidad de discutir en Latinoamérica la pertinencia del momento tardío en que se enseña la Teoría de la Evolución en la mayoría de los países (ver Vásquez-Ben y Bugallo-Rodríguez 2018): los estudiantes de educación primaria se encuentran preparados para comprender (ver Emmonst *et al.*, 2016), pero requieren enseñanza explícita y sistemática de una teoría que es contraintuitiva. Más aún, es interesante notar que los resultados del estudio muestran, en coherencia con otros estudios nacionales (Cofré *et al.* 2018), que aparentemente la aceptación de la Teoría de la Evolución no es un impedimento en el caso de los estudiantes chilenos, como sí parece serlo en Estados Unidos (Blackwell *et al.* 2003), y podría aumentar en función de su comprensión de la teoría misma (Skolnick *et al.* 2018).

Es interesante observar que aunque en el estudio de Cofré *et al.* (2018) estudiantes chilenos de 15-16 años prácticamente no usan en sus explicaciones la noción Lamarckiana de uso y desuso y herencia de rasgos adquiridos, esto aparece en nuestro estudio con bastante más claridad. Esto puede deberse, como mencionamos antes, al efecto de la instrucción de nociones relacionadas entre los 12 y 15 años o, con mayor probabilidad, al tipo de instrumento de evaluación. Mientras Cofré *et al.* (2018) usan una adaptación del test ACORNS (Nehm *et al.* 2012) que consiste en ítems abiertos donde los estudiantes deben formular explicaciones completas, nuestro instrumento (adaptado de Asterhan y Dotan 2018) les pide posicionarse respecto a lo correcto o incorrecto de las afirmaciones, indagando en las distintas nociones sistemáticamente sin que deban en cada caso elaborar una explicación completa, salvo un ítem. Considerando lo anterior, es importante profundizar en estos resultados usando otros instrumentos, como entrevistas orales, donde los estudiantes puedan desarrollar sus ideas más libre pero sistemáticamente.

Más allá de lo anterior, nuestros resultados muestran claramente un aspecto novedoso en comparación con la literatura existente: la influencia que puede tener la comprensión de los procesos históricos de la humanidad en la comprensión de la evolución por selección natural. El grupo de estudiantes que mencionan que la pérdida de pelo de los seres humanos se ha debido al uso de inventos científicos y tecnológicos, no solo suponen la necesidad de sobrevivencia como causa de los cambios (pensamiento teleológico), sino que comprenden estos cambios evolutivos al modo que comprenden los cambios históricos, donde los propósitos civilizatorios han causado innovaciones tecnológicas que, a su vez, han determinado cambios duraderos en las formas de vida del planeta. De hecho, un porcentaje importante de estudiantes manifiesta creer que el proceso de evolución humana es diferente al de otras especies, sugiriendo que los procesos de evolución histórica y biológica pueden estar siendo confusamente aprendidos, quizá producto de cruces poco sistemáticos entre lo que se trabaja en clases de historia y ciencias. Más aún, el discurso acerca del impacto de la tecnología en las formas de vida del planeta, y la responsabilidad humana en el cambio climático y crisis

medioambiental, está muy presente en las generaciones de escolares, y es importante considerarlo como marcos basales desde los que se entenderá y leerán las teorías evolutivas, enfatizando lo que Gregory (2009) llama *antropomorfismo e intencionalidad*. Lo mismo con la noción de herencia social. La evidencia irrefutable que una generación de seres humanos transmite a otra costumbres e información relevante para la sobrevivencia a través de procesos de enseñanza, se traspone fácilmente a rasgos y características biológicas tanto en seres humanos como otras especies, reforzando la idea de transmisión de caracteres aprendidos. La enseñanza de la evolución por selección natural debe considerar las distintas formas de transmisión y clarificar su rol diferencial en la evolución de las especies.

De esta manera, los resultados del estudio son valiosos y originales y contribuyen a diseñar una enseñanza que tome como punto de partida las ideas alternativas de estudiantes (Lucci y Copper 2019) y que se oriente a discutir las sistemáticamente (Bertka, Pobiner, Beardsley y Watson, 2019; Foster, 2012; Zabel y Gropengiesser, 2011), diseñando problemas específicos en que estas ideas se tensionen, de manera que se expresen, se exploren sistemáticamente y se evalúen críticamente a través de la discusión y argumentación, promoviendo una reconstrucción en cada estudiante de la Teoría de la Evolución por selección natural (ver también Jiménez-Aleixandre 1992).

Conclusiones e implicancias pedagógicas

Los resultados del estudio muestra que los estudiantes primarios piensan sorprendentemente similar a estudiantes secundarios, sin que sea la aceptación de la Teoría de la Evolución un impedimento evidente para su comprensión. Sin embargo, a diferencia de estudiantes secundarios, la articulación de una explicación coherente es inexistente en estudiantes de primaria.

Los resultados muestran algo que no ha sido ampliamente reportado hasta ahora: el impedimento que puede representar para la comprensión de la evolución de los seres vivos, el conocimiento de cambios y evolución histórica (incluyendo procesos de herencia social y cultural), y la comprensión de cambios en las especies debidos al cambio climático inducido por humanos.

Desde el punto de vista pedagógico, los resultados sugieren que dado que la comprensión articulada de la teoría es complejo, porque justamente es una teoría que articula diferentes ideas y conceptos científicos, una aproximación temprana a la enseñanza de la evolución debe centrarse en promover esta comprensión articulada a través de una enseñanza que establezca distinciones y relaciones sistemáticas, para cuyo diseño los resultados de este estudio resultan particularmente valiosos. En base a estos se sugieren los siguientes pasos:

1. Construir el problema de la evolución. Los resultados muestran que los estudiantes pueden tener una aproximación poco problemática al fenómeno (la evolución se da por el simple paso del tiempo), por lo que el primer paso para la enseñanza debe ser levantar con los estudiantes el problema de la evolución. Sin un problema, los estudiantes consumirán información, pero no construirán conocimiento. Para eso se sugiere pensar en las siguientes preguntas al diseñar la enseñanza: ¿Por qué es un problema? ¿Por qué se requiere una explicación que va más allá del simple paso del tiempo y la diferenciación gradual? ¿Cuál es la pregunta que guía una propuesta tan sofisticada como la selección natural?
2. Fomentar espacios para la formulación y exploración seria de las ideas de estudiantes. Para promover una comprensión articulada, se requiere que los estudiantes tengan espacios para expresar y evaluar sistemáticamente sus ideas en sus límites y relaciones.

A partir del problema inicial levantado con los estudiantes, se sugiere proponerles tareas que requieran que estos movilicen sus ideas, las expresen sin miedo, y las evalúen entre pares. Además de las tensiones esperables por estudios previos (azar versus necesidad; cambio por uso o desuso versus azar; decisiones voluntarias versus cambios involuntarios; cambio proporcional versus cambio gradual de rasgos; evolución humana versus evolución de otras especies), este estudio muestra nuevas tensiones con una gran utilidad pedagógica que se pueden acentuar para desafiar a los estudiantes y promover la revisión de sus ideas: herencia cultural versus herencia genética; la distinción entre evolución biológica, evolución histórica y evolución ontogenética; cambio climático inducido por el hombre y selección natural; avance tecnológico y científico y evolución biológica. Usando estas tensiones, se pueden promover problemas a discutir entre pares en que estos deban llegar a acuerdos respecto a explicaciones, que permitan no solo formular y expresar sus ideas, sino evaluarlas críticamente abriéndolas a su transformación.

3. Consolidación del conocimiento. Una vez que los estudiantes formulen y evalúen críticamente las ideas a partir de problemas y desafíos, es necesario que estas se vuelvan a expresar y evaluar en el espacio común del aula mediado por el o la docente. Aquí se pueden agudizar momentáneamente tensiones y contradicciones justamente para darles un lugar y construir relaciones sistemáticas y explicaciones progresivamente articuladas, diferenciando escalas temporales, tipos de herencia y escala de cambios; articulando, además, los distintos conceptos de manera de reconstruir el cambio en dos etapas: origen y transmisión de los cambios en seres vivos.

Agradecimientos

Este trabajo fue posible gracias al financiamiento del Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDECYT) de la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo de Chile (ANID) proyecto n°1170431. Se agradece la revisión y comentario cuidadoso del manuscrito de Hernán Cofré, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

Referencias

- Asterhan C.H.C., Dotan A. (2018) Feedback that corrects and contrasts students' erroneous solutions with expert ones improves expository instruction for conceptual change. *Instructional Science*, 46, 337-355. <https://doi.org/10.1007%2Fs11251-017-9441-1>
- Basel N., Harms U., Precht H., Weiß T., Rothgangel M. (2013) Students' arguments on the science and religion issue: the example of evolutionary theory and Genesis. *Journal of Biological Education*, 48(4), 179–187. <https://doi.org/10.1080/00219266.2013.849286>
- Bermúdez G. (2015) Los orígenes de la Biología como ciencia. El impacto de las teorías de evolución y problemáticas asociadas a su enseñanza y aprendizaje. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 12 (1), 66-90. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i3.3105
- Bertka C. M., Pobiner B., Beardsley P., Watson W. A. (2019) Acknowledging students' concerns about evolution: a proactive teaching strategy. *Evolution: Education and Outreach*, 12(1). <https://doi.org/10.1186/s12052-019-0095-0>
- Bishop, B. A., Anderson, C. W. (1990). Student conceptions of natural selection and its role in evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(5), 415-427. <https://doi.org/10.1002/tea.3660270503>

- Blackwell W.H., Powell M.J., Dukes G.H. (2010) The problem of student acceptance of evolution. *Journal of Biological Education*, 37 (2), 58-67. <https://doi.org/10.1080/00219266.2003.9655852>
- Cofré H., Santibáñez D., Jiménez J., Spotorno A., Carmona F., Navarrete K., Vergara C. (2018) The effect of teaching the nature of science on students' acceptance and understanding of evolution: myth or reality? *Journal of Biological Education*, 52 (3), 248-261. <https://doi.org/10.1080/00219266.2017.1326968>
- Cofré H., Jiménez J., Santibáñez D., Vergara C. (2016) Chilean pre-service and in-service teachers and undergraduate students' understandings of evolutionary theory. *Journal of Biological Education*, 50 (1), 10-23. <https://doi.org/10.1080/00219266.2014.967278>
- Demastes S.S., Settlage J., Good R. (1995) Students' conceptions of natural selection and its role in evolution: Cases of replication and comparison. *Journal of Research in Science Teaching*, 32 (5), 535-550. <https://doi.org/10.1002/tea.3660320509>
- Dobzhansky T. (1973) Nothing in Biology makes sense except in the light of evolution. *The American Biology Teacher*, 35 (3), 125-129. <https://doi.org/10.2307/4444260.short>
- Driver R., Newton P., Osborne J. (2000) Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84, 287-312. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(200005\)84:3<287::AID-SCE1>3.0.CO;2-A](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(200005)84:3<287::AID-SCE1>3.0.CO;2-A)
- Emmons N., Smith H., Kelemen D. (2016) Changing Minds With the Story of Adaptation: Strategies for Teaching Young Children About Natural Selection. *Early Education and Development*, 27(8), 1205-1221. <https://doi.org/10.1080/10409289.2016.1169823>
- Foster, C. (2012) Creationism as a misconception: socio-cognitive conflict in the teaching of evolution. *International Journal of Science Education*, 34 (14), 2171-2180. <https://doi.org/10.1080/09500693.2012.692102>
- González Galli L., Meinardi E. (2015) Obstáculos para el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural, en estudiantes de escuela secundaria en Argentina. *Ciência & Educação (Bauru)*, 21 (1), 101-122. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5285777>
- 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>
- Hokayem H., BouJaoude S. (2008) College students' perceptions of the Theory of Evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, 45 (4), 395-419. <https://doi.org/10.1002/tea.20233>
- Jiménez Alexandre M. (2009) *Enseñar Ciencias*. Barcelona: Grao.
- Jiménez-Alexandre M. P. (1992). Thinking about theories or thinking with theories?: A classroom study with natural selection. *International Journal of Science Education*, 14 (1), 51-61. <https://doi.org/10.1080/0950069920140106>
- Kumandas B., Ateskan A., Lane J. (2018) Misconceptions in biology: a meta-synthesis study of research, 2000-2014. *Journal of Biological Education* <https://doi.org/10.1080/00219266.2018.1490798>
- Larkin D. (2012) Misconceptions about "Misconceptions": Preservice Secondary Science Teachers' Views on the Value and Role of Student Ideas. *Science Education*, 5, 927-959. <https://doi.org/10.1002/sce.21022>

- Larrain, A., Freire, P., López, P. & Grau, V. (2019). Counter-arguing during curriculum-supported peer interaction facilitates middle-school students' science content knowledge. *Cognition and Instruction*, 37, 453-482. <https://doi.org/10.1080/07370008.2019.1627360>
- Lombrozo T, Thanukos A., Weisberg M. (2008) The Importance of Understanding the Nature of Science for Accepting Evolution. *Evolution: Education and Outreach*, 1 (3), 290-298. <https://doi.org/10.1007/s12052-008-0061-8>
- Lucci K., Cooper R. A. (2019) Using the I2 Strategy to Help Students Think Like Biologists about Natural Selection. *The American Biology Teacher*, 81(2), 88-95. <https://doi.org/10.1525/abt.2019.81.2.88>
- Millán P., Carmona R., Zárata B. (1997) Comprensión y malentendidos del concepto de selección natural en estudiantes universitarios. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 2 (3), 45-66. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=300365>
- Moreno L., Zuñiga K., Cofré H., Merino C. (2018). Efecto (¿o no?) de la inclusión de naturaleza de la ciencia en una secuencia para el aprendizaje y la aceptación de la teoría de la evolución. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15 (3), 3105. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i3.3105
- Nehm R.H., Reilly L. (2007). Biology majors' knowledge and misconceptions of natural selection. *BioScience*, 57 (3), 263-272. <https://doi.org/10.1641/B570311>
- Nehm R.H., Beggrow E., Opfer J., Ha M. (2012) Reasoning about natural selection: Diagnosing contextual competency using the ACORNS instrument. *The American Biology Teacher*, 74 (2), 92-98. <https://doi.org/10.1525/abt.2012.74.2.6>
- Rivas M.L., González F. (2016). ¿Comprenden y aceptan los estudiantes la evolución? Un estudio de bachillerato y universidad. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13 (2), 248-263. <http://hdl.handle.net/10498/18287>
- Rutledge M., Warden M. (2000) Evolutionary theory, the nature of science & high school biology teachers: Critical relationships. *The American Biology Teacher*, 62 (1), 23-31. <https://doi.org/10.2307/4450822>
- Skolnick D., Landrum A.R., Metz E., Weisberg M. (2018) No missing link: Knowledge predicts acceptance of evolution in the United States. *BioScience*, 68, 212-222. <https://doi.org/10.1093/biosci/bix161>
- Tamayo M., González F. (2005) La enseñanza de la evolución en Chile: Una historia de conflictos documentada en los textos de estudio. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, Congreso VII. https://ddd.uab.cat/pub/edlc/edlc_a2005nEXTRA/edlc_a2005nEXTRAp256ensevo.pdf
- To C., Tenenbaum H.R., Hogh H. (2017). Secondary school student's reasoning about evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, 54 (2), 247-273. <https://doi.org/10.1002/tea.21347>
- Vásquez-ben L., Bugallo-Rodríguez A. (2018). El modelo de evolución biológica en el currículum de Educación Primaria: Un análisis comparativo en distintos países. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15 (3), 3101. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i3.3101
- Vygotski L. S. (1934/2001) Obras Escogidas II. Madrid: Visor.

- Webb N. M., Troper J. D., Fall R. (1995) Constructive activity and learning in collaborative small groups. *Journal of Educational Psychology*, 87 (3), 406–423. <http://dx.doi.org/10.1037/0022-0663.87.3.406>
- Zabel J., Gropengiesser H. (2011) Learning progress in evolution theory: climbing a ladder or roaming a landscape? *Journal of Biological Education*, 45(3), 143–149. <https://doi.org/10.1080/00219266.2011.586714>