

Enseñar y aprender evolución con y sin genética: una primera aproximación al cambio curricular

Gabriela Alcaíno

Pontificia Universidad
Católica de Valparaíso

Eduardo Berrios

Pontificia Universidad
Católica de Valparaíso

Paola Núñez

Pontificia Universidad
Católica de Valparaíso

Hernán Cofré

Pontificia Universidad
Católica de Valparaíso

Resumen

La enseñanza de la evolución ha sido un tema de gran controversia a lo largo de los años, con un bajo entendimiento, tanto a nivel nacional como a nivel mundial. Debido al reciente cambio curricular en Chile (Mineduc 2015), donde se cambian los contenidos de evolución, ecología y ecosistemas de tercero medio hacia primero medio, tenemos el escenario que debemos revisar evolución antes de las clases de genética. En base a esta problemática es que se realiza esta investigación para explorar si existen diferencias entre los conocimientos de evolución y genética en ambos grados. Para esto tomamos cursos de primero y tercero medio de dos colegios, uno particular subvencionado y otro particular pagado ($n=107$), a quienes se les aplicó un instrumento sobre conocimiento de selección natural (ACORN) y una prueba sobre Genética. A través de los resultados obtenidos, damos cuenta que los estudiantes tienen conocimientos deficientes de genética para ambos cursos de ambos colegios, siendo los estudiantes de tercero medios quienes obtienen mayor puntaje en promedio. Además, se registra un alto grado de razonamiento teleológico en sus respuestas, con diferencia significativa entre los cursos, siendo los terceros medios quienes obtienen mayor puntaje en promedio en ambos establecimientos, sin embargo, en el colegio particular pagado razonan con mayor número de conceptos darwinianos que los estudiantes del subvencionado. Esta primera evidencia de diferencia en la comprensión de evolución entre tercero medio y primero medio se discute en el contexto de la literatura y del currículum nacional.

Palabras clave: Evolución, genética, currículo, naturaleza de la ciencia.

Introducción

Como titula Dobzhansky (1973) en su ensayo, “Nada en Biología tiene sentido excepto a la luz de la evolución”, la evolución es el principio unificador que explica el desarrollo de la diversidad biológica en el planeta Tierra. Por su parte, la genética proporciona información de los conceptos de alelos y mutación, de mucha importancia para la comprensión de la Teoría Evolutiva (TE), específicamente para entender los mecanismos microevolutivos, como los cambios en la frecuencia alélica (Dobzhansky, 1973; Mead, Hejmadi & Hurst, 2016). Debido a la estrecha relación de ambas áreas biológicas es que se puede considerar que para un buen aprendizaje se deberían enseñar en un orden secuencial, es decir, genética en primer lugar para la comprensión de los mecanismos evolutivos, posteriormente. Se puede decir que en tiempos históricos esto fue así ya que, luego de la propuesta de Darwin y Wallace, la Teoría de Genética Mendeliana y la Genética de Poblaciones generaron la

Síntesis Evolutiva Moderna (Mayr, 1978; Síntesis evolutiva moderna, s.f.).

Por el contrario, hay quienes dicen que la secuencialidad de la enseñanza, en donde genética se imparte primero, no tiene un rol importante para la comprensión de la TE fundamentándose en que Darwin y Wallace no tenían un conocimiento acabado de genética, como mencionan Mead et al., (2017). Sin embargo, sólo luego de la llegada de la genética como ciencia es que se pudo esclarecer el origen de la variación que estudiaba Darwin (Mayr, 1978). Por lo tanto, no enseñar genética antes de evolución podría generar una menor comprensión sobre la TE ya que, existen evidencias recientes que enseñar genética antes de la enseñanza de evolución, no sólo aumenta la comprensión de genética, sino que además aumenta significativamente la comprensión de evolución en estudiantes de secundaria. Sin embargo, a pesar de esto, enseñar genética primero no aumenta significativamente la aceptación de la TE, existiendo una correlación significativa pero muy baja entre la comprensión y la aceptación de la TE (Mead et al., 2017). De todos modos, si se quiere trabajar, además de la comprensión, en la aceptación de la TE se debe incluir estrategias de historia de la ciencia (HOS) y/o naturaleza de la ciencia (NOS) en la enseñanza para mejores resultados (Cofré, Núñez, Becerra, y Cuevas, 2017; Cofré, Santibáñez, Jiménez, Spotorno, Carmona, Navarrete y Vergara, 2018; Moreno, Zúñiga, Cofré y Merino, 2018).

Marco de referencia

La literatura nos muestra un escenario preocupante sobre la comprensión de la TE en el mundo, tanto en el público en general como estudiantes e incluso profesores (Miller, Scott, y Okamoto, 2006; Kampourakis y Zogza, 2007; Cofré, Vergara, Santibáñez y Jiménez, 2013; Deniz y Borgerding 2018). En Estados Unidos, por ejemplo, incluso después de recibir instrucción formal los estudiantes no comprenden la selección natural, sino que razonan mayoritariamente de forma Teleológica, es decir, pensando que los individuos cambian sus rasgos por una fuerza interna, dado por la necesidad (Kampouraski y Zogza (2007). Lo mismo pasa en otros países como Grecia (Kampouraski y Zogza, 2007), Brasil (Pazza, Penteado, y Kavalco, 2010) y gran parte del mundo (Deniz y Borgerding, 2018). Esto se debería a múltiples factores, entre ellos la presión externa (medios como la televisión), o incluso la falta de comprensión y aceptación de la TE por los propios profesores.

Estrategias para la Enseñanza de la Evolución

En relación con esta problemática, se han sugerido muchas estrategias de enseñanza sobre evolución en diferentes países, pero muy pocos estudios las han probado en cuanto a su efectividad. No obstante, de acuerdo con la reciente revisión de Glaze y Goldston (2015), un método que mejora la comprensión y la aceptación de la evolución de los estudiantes son las clases basadas en indagación, en donde también se incluyen ciertos aspectos de naturaleza de la ciencia (NOS) (Emmons et al., 2016; Bayer y Luberdá 2016; Cofré, Jiménez, Santibáñez, y Vergara, 2016; Cofré, Núñez, Santibáñez, Pavez, y Vergara, 2018a).

Por ejemplo, Emmons et al., (2016), han descrito estrategias de enseñanza para estudiantes de entre 5 y 8 años en que se utilizan libros de cuentos ficticios, pero realista con explicaciones básicas sobre la adaptación por selección natural de ciertas especies. Este

estudio ha revelado que tanto los estudiantes menores como mayores logran una comprensión en el entorno escolar, pero se logra un nivel más alto de comprensión en los de mayor edad, realizando incluso generalizaciones hacia otras especies en sus respuestas (Emmons et al., 2016). Por otro lado, Bayer y Luberdá (2016) realizan su investigación en siete escuelas secundarias más un programa de verano, con clases inductivas, en donde primero se realizan laboratorios basados en investigación por medición de 11 cráneos homínidos y, posteriormente, se enseña la base de la teoría. El estudio muestra a estudiantes adquiriendo un aprendizaje con un alto dominio cognitivo por medio de generar datos desde los hechos, pasando al conocimiento desde la información y del conocimiento a la aceptación de la TE, logrando un alto grado de retención. Así pues, con las estrategias correctas se puede lograr un aumento significativo en la comprensión de la TE por parte de los estudiantes, ya sea que estén en la enseñanza primaria sin haber tenido clases de genética anteriormente o en estudiantes de secundaria con algún grado en el conocimiento genético.

Comprensión y Enseñanza de la Evolución en Chile

Ahora bien, la comprensión de los estudiantes y profesores en formación sobre la TE y los errores conceptuales a nivel nacional no son tan distintos a los de otros países ya mencionados. Un estudio realizado por Cofré et al., (2013) muestra que no existe una comprensión clara de los conceptos evolutivos y tampoco saben reconocerlos, además de existir un alto grado de incomprensión en los mecanismos que subyacen a la TE por parte de estudiantes universitarios de primer y segundo año de carreras científica-biológicas-pedagógicas, a los que se les evaluó el aprendizaje formal adquirido en la enseñanza básica y media. Por consiguiente, se puede inferir que existe un déficit en el proceso de enseñanza y aprendizaje de los contenidos de evolución en la enseñanza media, y no es erróneo pensar en un escenario más negativo de lo que sería la comprensión de la TE para los estudiantes de nivel secundario. En cuanto a los errores conceptuales más frecuentes sobre los mecanismos evolutivos son los de categoría Teleológica, luego la descripción Amecanística (describir el cambio sin un mecanismo claro), seguido de mecanismos de selección natural incompletos y muy pocas representaciones de respuesta genuinamente Lamarckista, describiendo por primera vez la preconcepción de la mezcla de especies, la cual se categorizó como “Quimerismo” (Cofré et al., 2013, 2016).

En Chile se han logrado resultados satisfactorios a través de la inclusión de la NOS y la historia de la ciencia (HOS) en las clases de evolución (Cofré et al., 2018ab). Se utilizan estrategias como explorar en las preconcepciones de los estudiantes en las diferentes temáticas a tratar, utilizar recursos y contexto cercano a los estudiantes o histórico de los principales investigadores relacionados al tema (Cofré, Núñez, y Becerra, Barraza, 2017; Núñez, Pavez, Santibáñez, Becerra, y Cofré, 2017), analizar textos científicos poniendo al estudiante “en el papel del investigador” (Núñez et al., 2017). En estos casos se ha incluido la NOS, a través de la reflexión sobre cómo cambia y se modifica el conocimiento científico (Cofré et al., 2017; Núñez et al., 2017), y que el conocimiento científico se construye en base a datos empíricos (Cofré et al., 2017). Además, estas estrategias incluyen la evaluación de la capacidad de explicación y aplicación de conceptos por parte de los estudiantes, a través de ticket de salida al finalizar las sesiones donde se preguntan ideas clave (Moreno et al., 2018). Por ejemplo, Cofré et al. (2017) han generado y evaluado una actividad parcelada en tres partes, donde en la primera se observan imágenes del lugar donde Dobzhansky realizó su

investigación, posterior a ello los estudiantes deben proponer algunas adaptaciones de *D. pseudoobscura*, luego se da a conocer los métodos de recogida de datos que utilizó el investigador; en una segunda etapa se trabaja con otras láminas ilustradas de los mutantes del cromosoma 3 encontrados por Dobzhansky, realizando observaciones y descripciones por los estudiantes sobre el mutante Chiricahua; y por último, analizando tabla y gráfico de frecuencia de mutantes cromosómicos responder a pregunta en relación al cambio alélico, discutiendo en conjunto cuál es la importancia de la evidencia empírica en relación con la aceptación de la TE, reflexionando sobre la importancia de éste y otros investigadores para la Síntesis Evolutiva Moderna, consolidando los conocimientos adquiridos en la aplicación del mecanismo de selección natural en un nuevo cambio climático.

Currículum Educacional Chileno

El Currículum educacional chileno, por su parte, ha sufrido diversos cambios durante los últimos años, desde la reforma de los años 90' donde se establecieron las bases del currículum como se conoce hoy en día. Este primer currículum conocido, como marco curricular, es el responsable de organizar los contenidos y aprendizajes que se mantiene vigente en tercero y cuarto medio hoy en día (2018), y luego, a partir del año 2014 se crean las bases curriculares entre 7° básico a 2° medio que comenzaron a implementarse desde el 2016 en primero medio (Mineduc, 2014). En este caso se generó un cambio en el área de las ciencias, donde en 1° medio a partir del año 2017 se cambiaron las unidades de la célula, transporte celular y fotosíntesis por las unidades de evolución, ecología y ecosistemas, temas que, en parte, se revisaban en tercero medio en el currículum anterior y estarán vigentes hasta el año 2019. En particular, los cambios realizados implicaron que el tema de evolución en general ha sido acortado a sólo una unidad en primero medio y los objetivos de este nivel (Mineduc, 2014) están relacionados principalmente en las evidencias de la evolución, y no en el mecanismo de la evolución, a diferencia de lo que existía en tercero medio, donde hay temas exclusivos para tratar las evidencias, el mecanismo de selección natural, tipos de selección, especiación e incluso toda una unidad de evolución humana que ya no se toca explícitamente (Abarca et al., 2016).

Planteamiento del problema

De esta forma, teniendo en cuenta el cambio curricular ya descrito, donde los contenidos de evolución serán vistos en primero medio (Aguilera et al., 2016), y los de genética (ADN, ciclo celular y herencia genética) en 2° medio en su tercera y cuarta unidad respectivamente (Campbell, 2018), se puede inferir que los alumnos que a partir del 2017 se les ha enseñado evolución en primero medio, no tienen conocimiento previo acerca de la genética ni herencia, a diferencia de los alumnos que hasta este año se les ha enseñado evolución en tercero medio (Abarca et al., 2016), quienes ya vieron la temática de genética en el año anterior. Por lo tanto, esta investigación fue guiada por las siguientes preguntas:

¿Cuál es el grado de conocimiento de genética que poseen los estudiantes de primero y tercero medio a los que se les enseña evolución?

¿Cuál es el grado de conocimiento de selección natural que poseen los estudiantes de primero y tercero medio luego de la enseñanza de este tema?

¿Cuál es la relación que existe entre los conocimientos de genética y los conocimientos de evolución que poseen estudiantes de primero y tercero medio?

Hipótesis del estudio

Los estudiantes de primero medio, que no han tenido clases de genética y herencia, en promedio, desarrollarán una menor comprensión sobre evolución que estudiantes de tercero medio que sí tuvieron clases de herencia y genética, antes de evolución, ya que este contenido es esencial para comprender aspectos de selección natural como la variabilidad y herencia de los rasgos.

Metodología

Muestra

La muestra fue no probabilística e intencionada, y estuvo compuesta por un total de 4 cursos de dos colegios diferentes, siendo uno particular pagado y otro particular subvencionado, cada colegio con un curso de primero y uno de tercero medio. En el colegio particular subvencionado, el curso de 1° medio estuvo compuesto por un total de 41 estudiantes, y el 3° medio, estuvo compuesto por un total de 35 estudiantes, si bien, ambos cursos tuvieron a profesores diferentes encargados de su enseñanza, ambos profesores trabajan juntos de hace más de 6 años a cargo del área de biología en el establecimiento, siendo profesores muy similares en su manera de enseñar. Por otro lado, en el colegio particular pagado, el curso de primero medio estuvo compuesto por un total de 21 estudiantes, y el curso de tercero medio estuvo compuesto por 10 estudiantes, ambos cursos a cargo de la misma profesora, quien ha tenido instancias de capacitación sobre enseñanza de la evolución y realiza una enseñanza centrada en el estudiante. Todas las pruebas fueran aplicadas a los estudiantes después de la enseñanza de evolución.

Instrumentos

A los estudiantes participantes en esta investigación se les aplicó un cuestionario que incluye preguntas para medir el conocimiento sobre selección natural (ACORNS), el cual ya ha sido ampliamente usado por su alta validez y confiabilidad (Nehm et al., 2012). El instrumento incluye 4 preguntas sobre el conocimiento sobre evolución, las cuales consistían en preguntas abiertas con el siguiente formato: “Cómo crees que los biólogos explican el mecanismo por el cual la especie X (con o sin el rasgo) ha evolucionado a partir de un ancestro Y (con o sin el rasgo)?” (Cofré et al., 2018ab). El análisis de las respuestas obtenidas fue realizado individualmente por tres investigadores, y luego se discutieron en conjunto para llegar a consenso en las preguntas que no hubo coincidencia. En el análisis de las preguntas hubo una coincidencia de 95.5%. Para el análisis de las preguntas se utilizaron categorías ya descritas en Cofré et al. (2013). Mediante esta pauta se clasifica la respuesta del estudiante según la presencia de 10 conceptos correctos descritos para una explicación de selección natural. Según esto y las preconcepciones que pueda Identificarse se realiza la siguiente clasificación de la respuesta: “Darwin completa” (incluye 3 conceptos correctos o más); “Darwin incompleta” (1 o 2 conceptos correctos) (Nehm et al., 2012); “Lamarck Completa” (2 preconcepciones de uso y desuso); “Lamarck incompleta” (1 preconcepción de uso y desuso); “Teleológica” (respuesta asociada a la necesidad); “Amecanística Completa” (2 o más preconcepciones de evidencias evolutivas); “Amecanística Incompleta” (1 preconcepción de comparación de evidencias); “Quimerismo” (entrecruce de especies); “No sabe” (0 conceptos correctos). Además, se incorporó la categoría respuesta “mixta” obtenida cuando el

estudiante incluye conceptos correctos y preconcepciones. Luego, se generó una sumatoria final por estudiante de las respuestas a cada pregunta, donde a cada concepto se le asignó un punto (podrían sumar hasta 10 puntos) y a las preconcepciones se les asignó -1 punto (-7 puntos), es decir, en la sumatoria final a las 4 preguntas sobre TE se podría tener un resultado máximo de 40 puntos y un resultado mínimo de -28 puntos.

La pregunta sobre herencia genética consistió en una pregunta abierta donde los estudiantes debían describir la herencia de un rasgo, siendo esta pregunta extraída y modificada de un estudio anterior (Olander y Holmqvist 2013) y validada por un experto en genética y evolución y un experto en didáctica de la biología. En el análisis de la pregunta de genética se usaron conceptos extraídos de una respuesta “ideal” (Tabla 1) dada por el experto en genética y evolución, y categorizando las respuestas en: “Mendel Completa” (incluye 4 o más conceptos correctos); “Mendel Incompleta” (1 a 3 conceptos correctos); “No sabe” (0 conceptos en cualquier categoría); y las preconcepciones sobre genética siendo: “Padres Homocigotos”; “Mezcla de colores” (referencia a la unión de los colores de los padres que se traspasan a las crías) y “Quimerismo” (cruce de especies o razas diferentes). Una vez clasificados los datos, donde hubo un 95% de coincidencia, se realizó la sumatoria final, donde todos los conceptos correctos sumaban puntaje, teniendo un máximo de 10 y los conceptos incorrectos podrían restar hasta 3 puntos.

Tabla 1. Pauta completa con la cual se evaluó la pregunta abierta del cuestionario de conocimientos de genética.

Categoría	Referencia al concepto
Rasgo	Hace referencia al rasgo como el color de pelaje
Poligenes	El rasgo está determinado genéticamente por dos genes
Polialelos	Cada gen con dos alelos para el rasgo
Segregación independiente	Segregándose de forma independiente cada alelo
Homocigoto recesivo y Heterocigoto	Cruce de un parental homocigoto recesivo y un parental heterocigoto para una camada de cuatro fenotipos distintos
Parentales heterocigotos	Cruce de ambos parentales heterocigotos para una camada de cuatro fenotipos distintos.
Meiosis	Se segregan independientemente los alelos parentales
Permutación cromosómica	Combinación al azar de los alelos en los cigotos
Proporción	Siendo la proporción Mendeliana 1:1:1:1
Herencia compleja	Un sólo Gen (1) con más de dos alelos (2) que presenten codominancia (3) o estar ligados (4)
Mutación	Alteración genética que se transmite a los descendientes.

Análisis estadísticos

Luego de obtener los valores para cada variable, se realizaron los análisis de normalidad encontrándose que los datos no son normales. Por esta razón, la comparación de medias entre grupos independientes se realizó mediante una prueba no paramétrico (Mann-Whitney) con el software estadístico SPSS Statistics.

Resultados y discusión

Conocimientos sobre Genética

En cuanto a los conocimientos de genética Mendeliana que tienen los estudiantes del Colegio Particular Subvencionado, se pueden observar que los de primero medio (media= $-0,26 \pm 0,7$) saben menos que los de tercero medio ($0,74 \pm 0,98$) como se muestra en la Figuras 1. Esta diferencia es estadísticamente significativa de acuerdo con el test de Mann-Whitney ($z = -4.51$; $p < 0.001$).

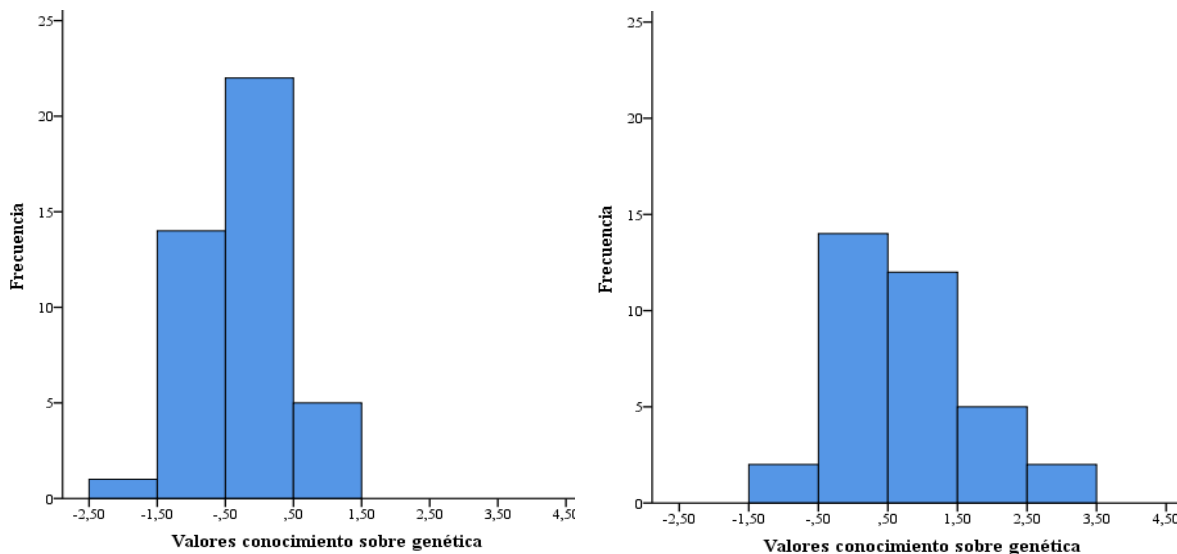


Figura 1. Distribución de puntajes obtenidos en la pregunta sobre genética por los estudiantes de primero medio (izquierda) y tercero medio (derecha) del Colegio Particular Subvencionado.

En cuanto a los valores del Colegio Particular Pagado, el análisis muestra una tendencia muy similar. Los estudiantes de primero medio logran una media de $0,30 \pm 0,6$, mientras que los estudiantes de tercero medio tienen una media de $1,56 \pm 1,3$ (Figura 2). Estos resultados también son estadísticamente significativos (test de Mann-Whitney; $z = -2.75$; $p < 0.01$).

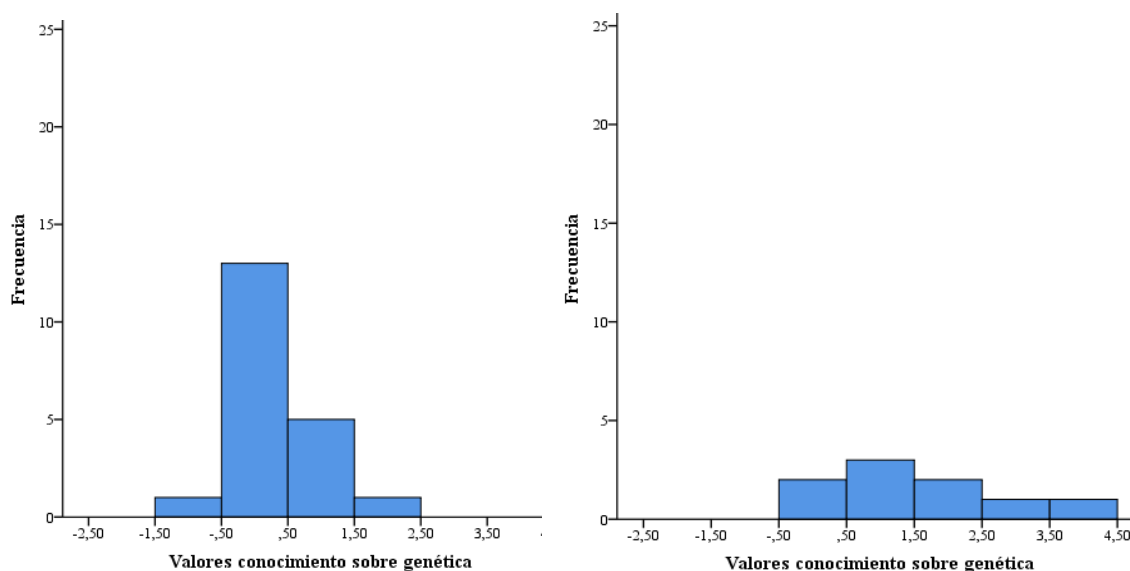


Figura 2. Distribución de puntajes obtenidos en la pregunta sobre genética por los estudiantes de primero medio (izquierda) y tercero medio (derecha) del Colegio Particular Pagado.

Por otra parte, y como se puede ver en las Figuras 3 y 4, existen diferencias en la proporción de estudiantes que responden de manera distinta en primero medio y tercero medio. El error conceptual más frecuentes para los 1° medios de ambos colegios es el de Mezcla de colores con un porcentaje total de 20% para el Particular Subvencionado y de 40% para el Particular Pagado. Al comparar los cursos del colegio Particular Subvencionado (Figura 3), podemos observar que los estudiantes del 1° medio responden principalmente sin saber los conceptos Mendelianos (42%), seguido de respuestas de “Mezcla de Color” (28%). Por su parte, en el 3° medio se acercan a una respuesta Mendeliana, pero de manera incompleta (54%), seguido de un 31% que no sabe. En cambio, para el Colegio Particular Pagado, un 50% de los estudiantes de 1° responden sin saber, seguido de un 30% de respuestas Mendelianas incompletas, aumentando este tipo de respuestas en el 3° medio al 55%, seguido de una respuesta mixta entre “Mendel incompleta” con “Parentales Homocigotos” con un 33% (Figura 4). Disminuyendo en ambos cursos sus respuestas incorrectas en la mayoría de sus errores conceptuales.

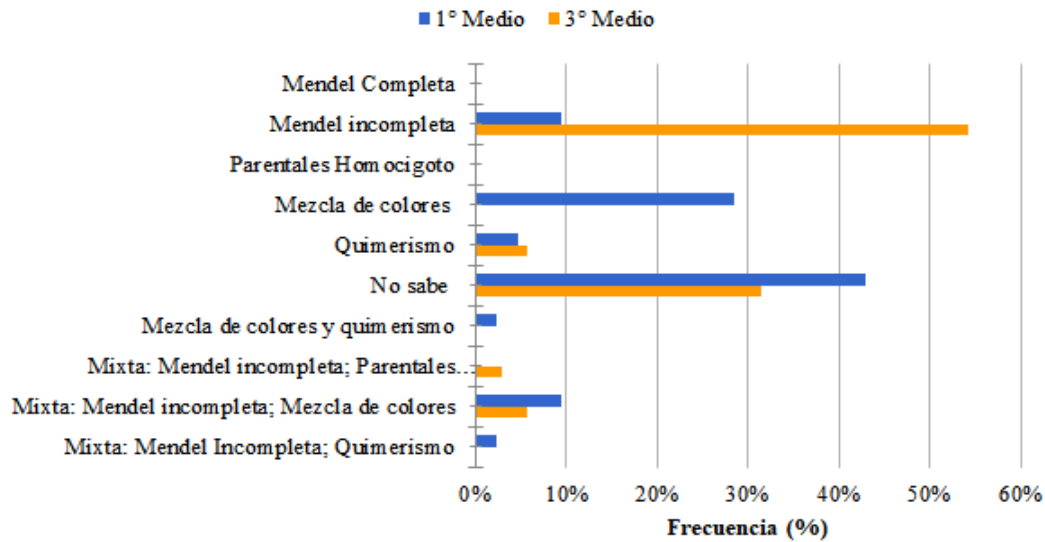


Figura 3. Frecuencia (%) de tipos de respuestas dadas por los estudiantes del Colegio Particular Subvencionado en la pregunta de genética.

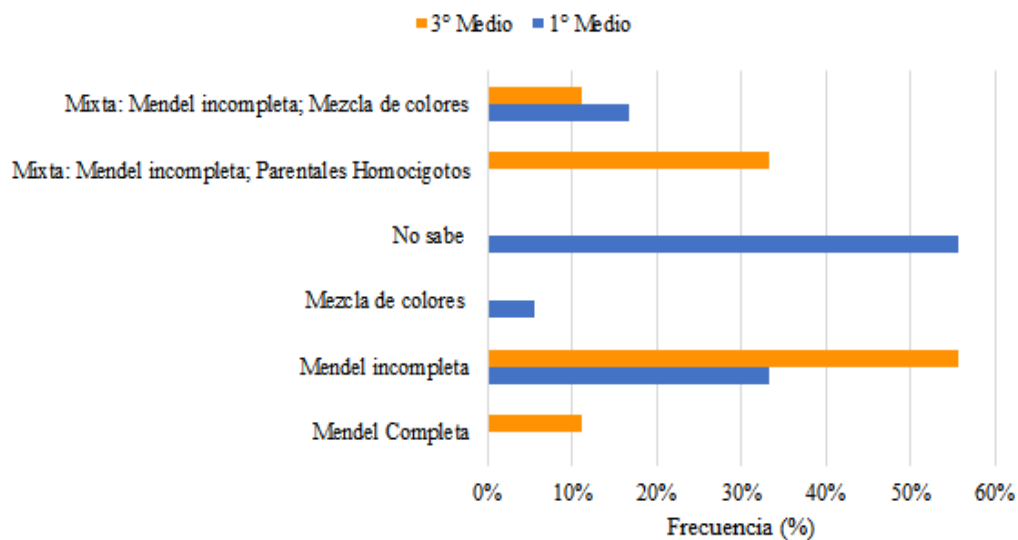


Figura 4. Frecuencia (%) de tipos de respuestas dadas por los estudiantes del Colegio Particular Pagado en la pregunta de genética.

Conocimientos sobre Evolución

Con respecto a los resultados obtenidos, mediante la sumatoria del cuestionario ACORN, en el Colegio Particular Subvencionado, el curso de primero medio obtuvo una media de $-2,05 \pm 1,7$ y, por otro lado, el tercero medio de este mismo establecimiento obtuvo una media de $1,11 \pm 3,879$, teniendo un incremento en el puntaje el curso de 3° medio, con más estudiantes que logran puntajes en el rango de positivo (Figura 5). Esta diferencia es estadísticamente significativa de acuerdo con el test de Mann-Whitney ($z = -3.89$; $p < 0.0001$).

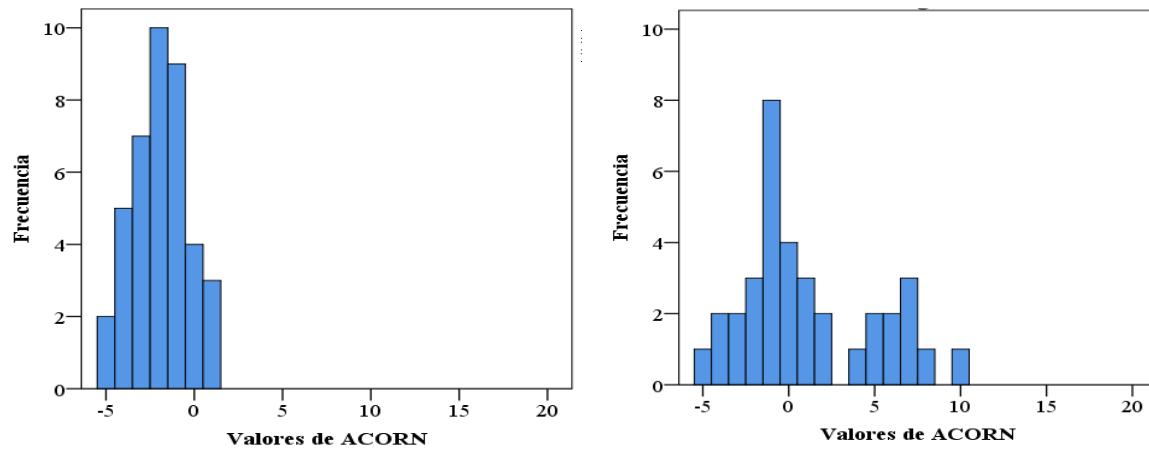


Figura 5. Distribución de puntajes obtenidos en el cuestionario ACORN por los estudiantes de primero (izquierda) y tercero (derecha) medio del Colegio Particular Subvencionado.

Por otra parte, en el Colegio Particular Pagado, los puntajes obtenidos por los estudiantes en el cuestionario ACORN fueron de una media de $6,76 \pm 4,4$ en el primero medio y $12,30 \pm 4,191$ en el tercero medio (Figura 6), manteniendo la tendencia de incrementar los puntajes en el curso mayor. Esta diferencia es estadísticamente significativa de acuerdo con el test de Mann-Whitney ($z = -2.97$; $p < 0.001$). Es importante destacar la notable diferencia que existe entre el curso del Colegio Particular Subvencionado que tienen un desempeño más bajo, a diferencia del Colegio Particular Pagado.

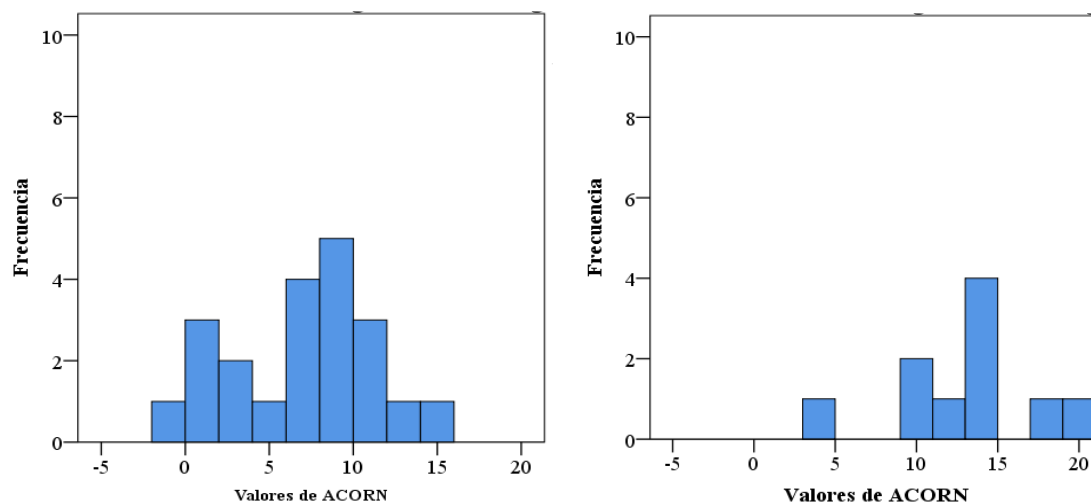


Figura 6. Distribución de puntajes obtenidos en el cuestionario ACORN por los estudiantes de primero (izquierda) y tercero (derecha) medio del Colegio Particular Pagado.

Al comparar los cursos del colegio Particular Subvencionado (Figura 7), podemos observar que en el primero medio el porcentaje más alto de estudiantes responden de manera teleológica, seguido por los “No sabe”. Sin embargo, en tercero medio, el porcentaje más alto de estudiantes presenta respuestas darwinianas incompleta, seguido por respuestas Teleológicas. Ahora, cuando comparamos los porcentajes de las respuestas de los estudiantes del Colegio Particular Pagado (Figura 8), podemos observar que porcentualmente los estudiantes de primero medio presentan una respuesta darwiniana incompleta, sin embargo 70% de los estudiantes de tercero medio presentan una respuesta darwiniana completa, siendo muy poco el porcentaje de estudiantes que presenta preconcepciones.

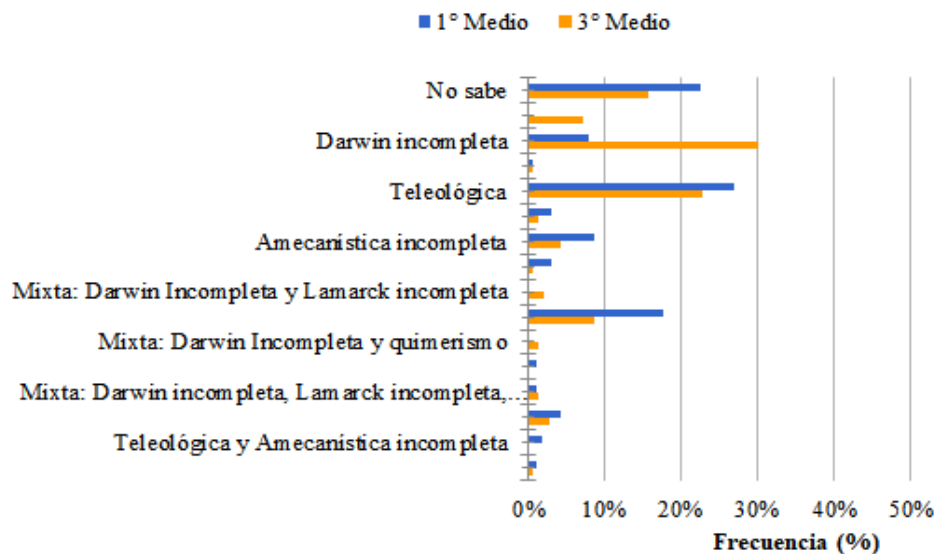


Figura 7. Frecuencia (%) de los tipos de respuestas dados por lo estudiantes del Colegio Particular Subvencionado en la prueba ACORN.

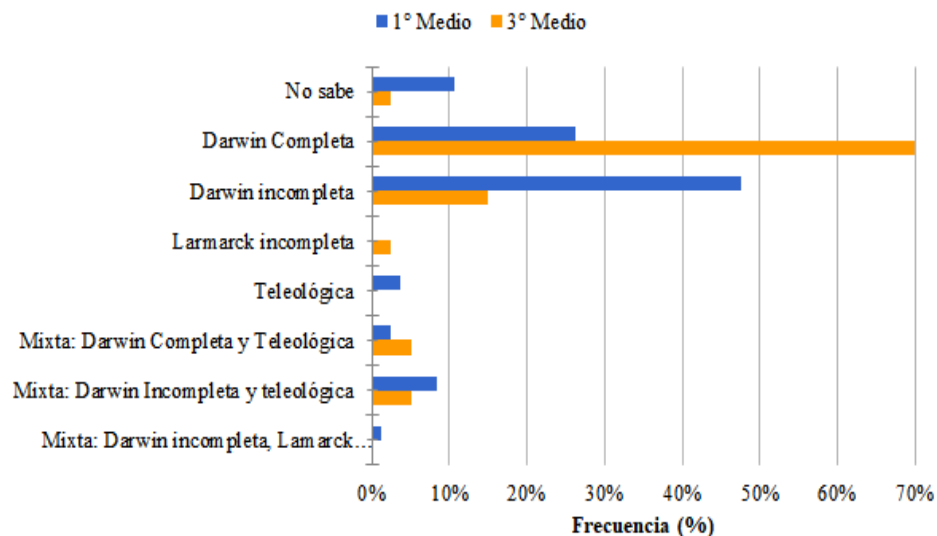


Figura 8. Frecuencia (%) de los tipos de respuesta dados por los estudiantes del Colegio Particular Pagado en la prueba ACORN.

Discusión

Conocimiento sobre genética

Se sabe que en estudiantes de secundaria existen bajos niveles de conocimientos genéticos en Estados Unidos (Lawson y Thompson, 1988; Mills et al., 2008) y una alta tasa de conceptos erróneos sobre las leyes de Mendel en España (Caballero, 2008). Nuestros resultados no difieren tanto de estos estudios, pues nuestros estudiantes responden con un razonamiento erróneo de mezcla de caracteres de los padres, confusión que disminuye en los niveles mayores y también hacia familias de mayores capitales culturales (colegio particular pagado).

Conocimiento sobre evolución

En esta investigación hemos evidenciado que gran parte de los estudiantes, en ambos colegios, presentan una falta de comprensión sobre la TE y mecanismos de selección natural, siendo los errores conceptuales más frecuentes las respuestas Teleológicas. Estos resultados coinciden con los hallazgos de los estudiantes ingleses (Mead et al., 2017), griegos (Kampouraski y Zogza, 2007) y nacionales (Cofré et al., 2013, 2016). Así mismo, las respuestas de los estudiantes del colegio Particular Subvencionado fluctúan entre el 47% y el 70% de razonamientos incorrectos para los mecanismos de Selección Natural, muy similar a lo que ocurre en la investigación nacional (Cofre et al., 2016) y brasileña (Pazza et al., 2010) con estudiantes de primer año universitario que se les midió el aprendizaje adquirido en la educación primaria y secundaria. Además, los estudiantes del colegio Particular Subvencionado tienen un desempeño menor al 8% cuando responden a través de mecanismos Darwinistas completos, similar a lo encontrado en las investigaciones de Cofre et al., (2013) y Kampouraski y Zogza (2007). Sin embargo, luego de recibir instrucciones de genética, los estudiantes aumentan su desempeño respondiendo con mecanismos Darwinistas.

¿La genética podría influir en el aprendizaje de la evolución?

En este trabajo hemos evidenciado una mayor comprensión tanto de evolución en estudiantes con mayor conocimiento sobre genética en los cursos de tercero medio, independiente del tipo de establecimiento estudiado, lo que coincide con lo ya descrito por Maed et al., (2017), quienes mostraron una diferencia de 0,4 puntos de quienes se les imparten clases de genética antes de las clases de evolución. Sin embargo, estos resultados se deben tomar con precaución ya que en ese estudio la enseñanza de la genética se realizaba en el semestre inmediatamente anterior a la de evolución, mientras que, en nuestro caso, las clases de genética impartidas a los estudiantes de tercero medio son realizadas con más de un año de diferencia.

Conclusiones

Influencia del cambio curricular en el aprendizaje de la evolución

Tomando en cuenta todos los datos recogidos y conociendo los preocupantes niveles de comprensión de la evolución de los estudiantes chilenos, con este cambio curricular, se podría asumir que los niveles de comprensión podrían bajar aún más en los próximos años cuando sólo se trate evolución en primero medio. Teniendo en consideración esto, entonces es importante que los profesores de biología, los cuales son los encargados de enseñar este

contenido, estén bien capacitados para enfrentar esta situación, ya que estudios demuestran que se pueden alcanzar altos niveles de comprensión de la evolución a cualquier edad, incluso sin tener conocimientos de genética (Emmons et al., 2016), por lo que integrar nuevas estrategias y secuencias didácticas al enseñar evolución será un factor importante para que los niveles de comprensión no caigan, y por el contrario, puedan mejorar.

Diferencias en el aprendizaje entre establecimientos de diferente dependencia

Un punto que no podemos dejar de mencionar es la preocupante diferencia de puntajes que existe, tanto de evolución como de genética, entre el Colegio Particular Subvencionado y el Colegio Particular Pagado, obteniendo este último puntaje que triplican la media obtenida en primero medio, e incluso siendo aun mayor la diferencia entre los terceros medios. Esto demuestra parte de una realidad a nivel país, donde la brecha socioeconómica es muy grande, e incluso notándose en los tamaños de los cursos, ya que en el Colegio Particular Subvencionado los cursos constan de cerca de 40 estudiantes o más, sin embargo, en el Colegio Particular Pagado los cursos fueron considerablemente más pequeños, siendo 21 estudiantes en primero medio y sólo 10 estudiantes en tercero medio, esto siendo un factor importante que influye en el aprendizaje de los estudiantes.

Proyecciones

Debido al carácter correlacional de este estudio y no experimental, y tomando en cuenta el limitado número de casos, es indispensable seguir realizando estudios a mayor escala o con mayor profundidad, para determinar el real efecto del conocimiento sobre genética en la comprensión de la evolución. Puesto que es una primera aproximación al cambio curricular, para futuras investigaciones sobre la comprensión del mecanismo de selección natural en estudiantes que han tenido o no clases de genética, se debería mejorar la prueba propuesto para genética, agregando más preguntas que reflejen fielmente los conocimientos que tienen los estudiantes sobre este tema. Además, se debería aumentar la muestra, lo que ayudaría a reflejar mejor los conocimientos que tienen los estudiantes tanto de genética como de evolución, haciéndola más representativa de la alfabetización científica de nuestro país. Se podría pensar en replicar el estudio de Maed et al., (2017), realizando las pruebas de evolución y genética a un número mayor de colegios, cuidando que ambos cursos tengan el mismo profesor. También se podrían realizar estudios experimentales en los cuales se puedan realizar intervenciones con enseñanza de evolución sin genética (control) y otros con genética, pero ambos en un mismo nivel, con el mismo profesor.

Bibliografía

- Abarca, C., Caro, A., Fernández, D., Flores, S., Lepe, C., Pepper, L., Poblete, E. (2016). Biología III-IV medio (1st ed., pp. 138 - 209). Santiago, Chile: Santillana del Pacífico S.A.
- Aguilera, P., Cuevas, B., Navarro, G., Pavez, J., Poblete, N. (2016). Biología 1° medio - Texto del estudiante (1st ed., pp. 10 - 71). Santiago, Chile: Santillana del Pacífico S.A.
- Bayer, C. N., Lubarda, M. (2016). Measure, then show: Grasping human evolution through an inquiry-based, data-driven hominin skulls lab. *PloS one*, 11(8), e0160054.
- Caballero, M. (2008) Algunas ideas del alumnado de secundaria sobre conceptos básicos de genética. *Enseñanza de la Ciencia*. 26(2), 227-244.
- Campbell, E. (2018). Biología 2°Medio - Texto del Estudiante (pp. 128 - 176). Santiago, Chile: Ediciones SM Chile S.A.
- Cofré, H., Vergara, C., Santibáñez, D., Jiménez, J. (2013). Una primera aproximación a la comprensión que
- © 2019 Revista Innovación en Enseñanza de las Ciencias | <http://www.reinnec.cl>

- tienen estudiantes universitarios en Chile de la Teoría de la Evolución. *Estudios Pedagógicos*, 39(2), 67-83.
- 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,
- Cofré, H., Núñez, P., Becerra, B., L., Barraza (2017). Una actividad para enseñar selección natural incluyendo la historia de la ciencia: el legado de Dobzhansky llega a la sala de clases. *Revista de Innovación en Enseñanza de las Ciencias*, 1 (1), 100-109.
- Cofré H., Núñez P., Santibáñez D., Pavez J., Vergara C. (2018a). Theory, evidence, and examples of teaching the nature of science and biology using the history of science: a Chilean experience. En: Prestes M., Silva C. (eds) *Teaching Science with Context. Science: Philosophy, History and Education* (pp. 65-84) Springer, Cham.
- Cofré, H., Santibáñez, D., Jiménez, J., Spotorno, A., Carmona, F., Navarrete, K., Vergara, C. (2018b). 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,
- Deniz, H., Borgerding, L. A. (2018). Evolutionary theory as a controversial topic in science curriculum around the globe. In *Evolution Education Around the Globe* (pp. 3-11). Springer, Cham.
- Dobzhansky, T. (1973). Nothing in biology makes sense except in the light of evolution. *The American Biology Teacher*, 35(3), 125-129. doi:10.2307/4444260
- 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.
- Glaze, A. L., Goldston, M. J. (2015). US science teaching and learning of evolution: A critical review of the literature 2000–2014. *Science Education*, 99(3), 500-518.
- Kampourakis, K., Zogza, V. (2007). Students' preconceptions about evolution: how accurate is the characterization as "Lamarckian" when considering the history of evolutionary thought?. *Science & Education*, 16,393-422.
- Lawson, E., Thompson, D. (1988). Formal reasoning ability and misconceptions concerning genetics and natural selection. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(9), 733–746.
- Mayr, E. (1978) La evolución. Colección Omega, 162 (6), 7-16. Recuperado de: <https://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2010/08/Mayr-1978.pdf>
- Mead, R., Hejmadi, M., Hurst L.D. (2017) Teaching genetics prior to teaching evolution improves evolution understanding but not acceptance. *PLoS Biol*, 15(5): e2002255. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.2002255>
- Miller, J., Scott, E., Okamoto, S. (2006). Public acceptance of evolution. *Science*, 313(5788), 765.
- Mills, K., Van Horne, K., Zhang, H. Boughman, J. (2008). Essay Contest Reveals Misconceptions of High School Students in Genetics Content. *Genetics*. 178(3): 1157-1168;
- MINEDUC. (2014a). Bases Curriculares 7° básico a 2° medio. Unidad de Currículo y Evaluación. Santiago de Chile
- MINEDUC. (2016). Biología. Programa de Estudio 3°. Santiago, Unidad de Currículo y Evaluación. Santiago de Chile
- Moreno, L., Zúñiga, 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. doi: 10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i3.3105
- Nehm, R., 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.
- Núñez, P., Pavéz, J., Santibáñez, D., Becerra, B., Cofré, H. (2017). La historia de la ciencia como elemento catalizador en la enseñanza de la biología y la naturaleza de la ciencia. *Revista de Innovación en Enseñanza de la Ciencia*, 1 (1), 64-78.
- Olander, C., Olander, M. H. (2013). Professional development through the use of learning study: contributions
- © 2019 Revista Innovación en Enseñanza de las Ciencias | <http://www.reinnec.cl>

to pedagogical content knowledge in biology. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 89, 205-212.

Pazza, R., Penteadó, P., Kavalco, K. (2010). Misconceptions about evolution in Brazilian freshmen students. *Evolution: Education and Outreach*, 3(1), 107-113. <https://doi.org/10.1007/s12052-009-0187-3>.