

A. Artículos de investigación en enseñanza de las ciencias

Tras la huella de la evolución humana: una secuencia de enseñanza y aprendizaje para la comprensión de la evolución incorporando naturaleza de la ciencia y el mecanismo de selección natural

Sylvia Farías Honores

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

Resumen

El aprendizaje de la evolución humana se enmarca dentro del problema de la evolución de las especies, cuyo contenido se enseña a estudiantes de educación media según el currículum chileno. Dada la importancia que tiene la enseñanza de la evolución humana como conocimiento científico, el objetivo del presente estudio fue diseñar e implementar una secuencia didáctica en un grupo de doce estudiantes de tercero medio plan diferenciado de Biología con el propósito de mejorar la comprensión de la evolución humana a través de la incorporación de la enseñanza de la naturaleza de la ciencia (NOS) y la revisión del mecanismo de selección natural de forma explícita. Los datos fueron recolectados mediante un instrumento sobre evolución humana y su relación con NOS, y el cuestionario VNOS-D+ que evalúa diferentes aspectos de NOS. Los resultados muestran una mejora en la comprensión de los aspectos de NOS estudiados y de evolución humana a través del mecanismo de selección natural, cuando se comparan los desempeños antes y después de la intervención. El análisis y conclusiones de los datos nos da cuenta de una mejora en la comprensión de NOS en dos aspectos estudiados: observación e inferencia y base empírica, sin embargo, también se mantienen concepciones alternativas sobre otros aspectos de NOS, evolución humana y el mecanismo de selección natural.

Palabras clave: Evolución humana, naturaleza de la ciencia, mecanismo de selección natural, secuencia de enseñanza aprendizaje, concepciones alternativas.

Introducción

Desde tiempos inmemorables el hombre se ha preguntado ¿Quiénes somos? ¿De dónde venimos? intentando responder el origen de nuestro linaje, donde a lo largo de la historia, la mitología y la religión han tratado a dar respuestas a estas preguntas. Tras la revolucionaria teoría de Darwin y Wallace, se inició un trabajo sistemático de investigación en el ámbito de la evolución humana, donde áreas específicas de estudio como paleontología, genética y otras ramas, han aportado y complementado de evidencia, dándole a esta rama de la ciencia un carácter “científico” presente en la formación de los futuros ciudadanos.

Actualmente el tema de la evolución humana aún se debe enseñar en la segunda unidad de tercer año de enseñanza media plan diferenciado de Biología, acorde a las definiciones del marco curricular 2009 y el programa de estudios del año 2015 (MINEDUC,

2009; 2015). No obstante, luego del cambio curricular y la introducción de las nuevas bases de séptimo a segundo medio (MINEDUC, 2014), el tema de la evolución humana no queda explícitamente descrito en primero medio. Queda la incógnita si en las nuevas bases de tercero y cuarto medio habrá lugar para realizar proyectos de investigación con los estudiantes que incluyan la revisión del tema de la evolución humana. En el programa de estudios de tercero medio plan común aún vigente al 2017, se enseña el contenido de evolución a partir de la cuarta unidad, donde se sugiere como actividades de evaluación, que el estudiante investigue las similitudes genéticas entre los humanos y los chimpancés, identificar cariotipos de ambas especies, elaborar hipótesis explicativas del por qué estas especies se diferencian, se les pide diferenciar al ser humano con varias especies de organismos, para que los estudiantes elaboren explicaciones de su evolución y de los cambios anatómicos observados. En relación a los mecanismos de evolución, se sugiere que los estudiantes describan los mecanismos de evolución más aceptados por los científicos, como la selección natural, la deriva genética, las mutaciones y el flujo génico (MINEDUC, 2015).

No obstante, la importancia de este contenido, existen obstáculos para la enseñanza de la evolución en educación secundaria y universitaria. Recientes investigaciones sobre la comprensión de la teoría evolutiva, nos demuestran que dentro de los problemas para la enseñanza de la evolución (incluyendo la evolución humana) es que no es aceptada por una gran parte de la población, lo cual ha sido explicado principalmente por aspectos religiosos, políticos y la poca comprensión de la teoría evolutiva y la naturaleza de la ciencia (Miller et al., 2006).

Por otro lado, también existen evidencias de que la teoría, tampoco es bien comprendida, particularmente el mecanismo de selección natural, lo cual se ha explicado esencialmente por la prevalencia de explicaciones intuitivas que incluyen el cambio a nivel individual, debido a la adaptación consiente de los organismos producto de las necesidades impuestas por el entorno (Cofré et al., 2013, 2016; González-Galli y Meinardi, 2015). Específicamente, en el nivel de la enseñanza secundaria, existen algunos estudios que han demostrado que la teoría de selección natural no es la más utilizada por los estudiantes para explicar el cambio adaptativo de las especies (e.g. Banet y Ayuso, 2003; Kampourakis y Zogza, 2007; González-Galli y Meinardi, 2015).

A pesar de todos estos obstáculos presentes, cabe destacar que la enseñanza de la evolución humana ofrece una excelente oportunidad para hacer participar a los estudiantes de un aspecto central de la educación científica: la naturaleza de la ciencia (NOS en inglés) (McInerney, 2009). Estudios señalan que profesores y estudiantes poseen creencias ingenuas e incompletas o tienen concepciones inadecuadas sobre NOS. Lederman (1992) asocia estas concepciones inadecuadas de los estudiantes a las deformaciones que poseen los profesores en este tema y a la ausencia de objetivos curriculares que promuevan una adecuada comprensión de la NOS y el desarrollo de habilidades de pensamiento científico.

Algunos autores (Posner et al., 1982; Osborne y Wittrock, 1983 en Jiménez-Aleixandre, 1991) han propuesto un modelo de aprendizaje llamado de cambio conceptual, que supone la sustitución de la concepción alternativa, por la idea nueva, aceptada por la comunidad científica. Si no se produce la sustitución o intercambio de la idea antigua por la nueva, y la idea antigua se mantiene, esta puede coexistir con la nueva que se originó por memorización repetitiva. Para Jiménez- Aleixandre (1991) son necesarios diferentes enfoques metodológicos para las necesidades y situaciones que se presentan en el aula, por lo que considera que el proceso de construcción de nuevas ideas no es independiente de la instrucción impartida.

A raíz de lo expresado anteriormente, surgen las preguntas ¿Qué actividades podrían permitir incluir tanto características de NOS como la evolución humana? ¿Qué efectividad podría tener una secuencia que incluya ambos temas? Para dar respuesta a estas interrogantes, en este trabajo se presenta una propuesta de diseño e implementación de una secuencia didáctica que integra algunas características de la naturaleza de la ciencia (observación e inferencia y base empírica) y la enseñanza de la selección natural, como uno de los mecanismos que explica la evolución humana y el origen de los rasgos de hominización como el bipedismo y el aumento del volumen craneal, a través de actividades que pretenden trabajar y corregir algunas concepciones alternativas sobre evolución humana y NOS y que permita que los estudiantes participen activamente de la construcción de su propio aprendizaje.

Marco de Referencia

Concepciones alternativas para el aprendizaje de la evolución humana y el mecanismo de selección natural

Las ideas que el alumno ya posee y que no concuerdan con lo “científicamente aceptable” reciben distintas denominaciones: errores conceptuales, esquemas conceptuales, representaciones, ideas intuitivas o concepciones alternativas y han sido objeto de numerosos estudios a partir de los años 80. Las concepciones alternativas de los estudiantes no son fáciles de cambiar, entre otras razones porque les resultan adecuadas para interpretar algunas parcelas de la realidad, y a menudo persisten incluso entre personas con estudios de Ciencias (Jiménez-Aleixandre, 1991).

Entre los factores que dificultan el aprendizaje de evolución se ha identificado los siguientes: presencia e influencia de ideas y valores religiosos de parte de estudiantes y profesores, la presencia y persistencia de concepciones alternativas (Bishop y Anderson, 1990, Smith, 2010a), el escaso conocimiento y/o no aceptación de la teoría evolutiva por parte de los profesores (Smith, 2010a), lo inadecuado de los materiales y estrategias didácticas (Gregory, 2009). En la enseñanza de la evolución se insiste en diferenciar “darwinismo” de “lamarckismo”, asociándose darwinismo con selección natural y lamarckismo con herencia de caracteres adquiridos. Se ha mostrado que los estudiantes con frecuencia atribuyen el cambio biológico a una respuesta voluntaria del organismo a una nueva necesidad impuesta por el medio ambiente (Rudolph y Steward, 1998; Kampourakis y Zogza, 2007; González-Galliy Meinardi, 2015). Esta explicación intuitiva o ingenua de los estudiantes, se basa en un pensamiento teleológico donde supone que el cambio evolutivo responde a fines predeterminados (González-Galliy Meinardi 2015), el cual muchas veces puede confundirse con explicaciones “Lamarckista”, más relacionadas con el uso y el desuso de estructuras orgánicas (Kampourakis y Zogza, 2007).

Otras concepciones que poseen los estudiantes en evolución humana son: No existen suficientes evidencias fósiles que demuestren la evolución del hombre, los estudiantes creen que la especie humana proviene directamente del mono y/o que no existen suficientes evidencias fósiles que demuestren la evolución del hombre desde un ancestro con caracteres de simio. (Gregory, 2009; Gutiérrez, 2009; Kampourakis y Zogza, 2007; Pazza et al, 2007), no existen evidencias de que la selección natural actuó en la especie humana, entre otras. Por otra parte, está claro que, pese a estos esfuerzos por caracterizar los errores conceptuales de los estudiantes, sus explicaciones alternativas son mucho más complejas, las cuales pueden

incluir combinación de las ideas Teleológicas, Lamarckistas y Darwinistas (e.g. Cofré et al., 2013, 2016; Nehmy Ha, 2011). Una importante dificultad para entender el mecanismo evolutivo de selección natural, deriva de nociones inadecuadas de genética. Se entiende como mutación a cualquier cambio de un ser vivo, pero también se puede interpretar como anormalidad, defecto, más que diversidad, adaptación y evolución. Los estudiantes suelen suponer que toda mutación se transmitirá a la descendencia, que surgen por cambios ambientales o por necesidad simultáneamente en todos los organismos sometidos a ciertas variaciones ambientales. Frecuentemente confunden mutaciones con cambios asociados al crecimiento, la metamorfosis o la pubertad. Algunos alumnos creen que en el origen de las variaciones hereditarias influyen la necesidad, el esfuerzo o el propósito (Tamayo y González, 2010). Cuando se explica selección natural, se debe manejar claramente el concepto al azar. Se suele pensar que el azar es una causa accidental, una causa desconocida o un error. Consideramos que interviene el azar cuando se produce un suceso sin que exista una causa conocida que lo provoque o no seamos capaces de predecir su desarrollo.

Se le llama metafóricamente “lucha por la existencia” o “lucha por la vida”, frases desafortunadas porque su interpretación literal, en el sentido de contienda, disputa o competencia agresiva, lleva a la tergiversación del concepto. Por lo tanto, la enseñanza del proceso de selección natural es importante y debe mejorarse tanto en textos de enseñanza como en la formación de profesores (Tamayo y González, 2010).

Los alumnos suelen pensar que la adaptación biológica se refiere a que los organismos efectúan conscientemente cambios físicos en respuesta a cambios ambientales, de tal forma que el mecanismo evolutivo se basaría en una mezcla de necesidad, uso y falta de uso. La idea de “adaptación” sugiere un propósito, un diseño que favorece la supervivencia o la reproducción, aunque no tenga intencionalidad (Tamayo y González, 2010). En relación con el mecanismo evolutivo, el significado de “adaptación” se refiere a que el organismo está genéticamente adaptado a determinadas condiciones en forma irreversible.

Los niños mayores de 13 años suelen tener claro que las características adquiridas no se heredan inmediatamente, pero aceptan que puedan fijarse genéticamente después de varias generaciones durante las cuales los individuos cambian fenotípicamente y no entienden el papel evolutivo de las mutaciones. Otra causa del origen de las concepciones alternativas, es el uso que dan los medios de comunicación (películas, cómics, ciertos programas de divulgación científica, etc.) a algunos términos científicos, por ejemplo, mutación, muchas veces otorgan un significado opuesto al que atribuye la comunidad científica. Términos como mutante, extraño, deforme, se convierten así en sinónimos que obstaculizan en la construcción de la idea de mutación, la selección natural consiste en la supervivencia del más fuerte; o el chimpancé es un antepasado de los humanos, ya que procedemos de los monos y en el aprendizaje de otros conceptos relacionados con la evolución.

Naturaleza de la ciencia: Algunas características, concepciones alternativas y estrategias para su enseñanza

La naturaleza de la ciencia (NOS en inglés) ha sido definida como las características propias del conocimiento científico. La comprensión de NOS es considerada como uno de los componentes fundamentales que promueven la alfabetización científica de los estudiantes (Adúriz-Bravo, Izquierdo y Estany, 2002). NOS típicamente se refiere a la epistemología de la ciencia, la ciencia como un manera de saber o los valores y creencias propios de conocimiento científico y su desarrollo (Lederman, 1992).

Diferentes autores, han consensuado en determinar cuáles son algunas de las características de la ciencia, incluyendo tanto aspectos del conocimiento científico generado, como de la metodología usada por los científicos para generar este conocimiento. Según Cofré, (2012): estas características sería:

- a) El conocimiento científico es provisorio
- b) El conocimiento está basado en datos empíricos
- c) La ciencia se construye gracias a la creatividad del científico
- d) El conocimiento se genera a través de diferentes métodos
- e) El conocimiento científico incluye teorías, leyes, hipótesis y modelos
- f) El conocimiento se genera a través de la observación y la inferencia
- g) El conocimiento siempre va guiado por la teoría
- h) La ciencia se hace en comunidad
- i) La ciencia tiene un contexto social y cultural
- j) La ciencia y la tecnología se influyen pero no son lo mismo

A pesar de que existe consenso sobre cuáles y cuántos de estos aspectos se debe enseñar para promover la educación científica, profesores y estudiantes de ciencia no poseen una buena comprensión de las características de la ciencia, no poseen una visión informada del tema, por lo que mantienen una serie de mitos y errores conceptuales en relación de lo que es la ciencia y el quehacer científico (Lederman, 2007; McComas, 1996).

Los estudiantes a menudo tienen conceptos erróneos robustos acerca de la naturaleza de la ciencia, y los profesores comparten estas ideas erróneas. Muchos estudiantes creen que las teorías científicas, con constante pruebas y confirmación, finalmente pueden madurar y convertirse en leyes. Las leyes son teorías maduras y que las leyes representar a la verdad absoluta. Estos conceptos erróneos puede ser agravados por la enseñanza de lo que los libros de texto suelen llamar "El método científico", que los estudiantes lo entienden como una secuencia lineal de pasos que sugiere que los científicos siguen un proceso único, fijo para desarrollar experimentos de laboratorio que ponen a prueba directa y definitivamente hipótesis. (Lombrozo et al., 2008).

A partir de estos antecedentes, se han realizado investigaciones sobre las estrategias de enseñanza de la NOS, tanto a nivel de profesores como estudiantes (Clough, 2006; Lederman, 2007; Acevedo, 2009). Existen pruebas de que un enfoque reflexivo y cognitivo es la mejor estrategia para la enseñanza de la NOS para los estudiantes y profesores (Lederman, 2007). Si la enseñanza de la NOS se realiza junto a la enseñanza de un contenido (contextualizada) o bien sin contenido (descontextualizada) siendo la misma NOS el contenido, se ha mostrado que la mayor eficiencia se logra, cuando existe una enseñanza que combina ambas aproximaciones. Algunas de las estrategias que se recomienda enseñar la NOS, es a través de actividades de indagación y experimentación con reflexión de NOS, actividades de argumentación, actividades que promueven el cambio conceptual, discusiones de temas socio-científicos (Aduriz-Bravo, 2002). La efectividad de estas estrategias se relaciona al aspecto a enseñar y la audiencia, donde los temas socio-científicos y de cambio conceptual, son aspectos que poseen mayor efectividad a diferencia de la dramatización y el seguimiento a los científicos como las menos efectivos (Cofré, 2012). Se sugiere entonces que para la enseñanza de la NOS se incluyan actividades contextualizadas, específicas o integradas a contenidos (Clough, 2006). En este contexto, la enseñanza de la evolución humana puede ser un escenario fértil para implementar actividades que incluyan NOS y por

otro lado, la inclusión de este aspecto puede beneficiar la comprensión y aceptación de la teoría evolutiva (Lombrozo et al., 2008; Cofré et al., 2017).

Propuesta didáctica para la enseñanza de evolución humana y naturaleza de la ciencia

Para la enseñanza y apropiación de la evolución humana y NOS, es necesario diseñar una unidad didáctica, concebida como “el documento de planificación de las situaciones de enseñanza y aprendizaje correspondientes a un tema o contenido curricular concreto” (Couso, 2008). Al ser la planificación del proceso de enseñar y aprender, incluye los contenidos concretos a tratar, la descripción del contexto, los objetivos, los materiales, así como el orden, la forma de llevar a cabo y evaluar las actividades.

El rombo didáctico de Méheut y Psillos (2004) nos señala que la dimensión didáctica corresponde a la relación entre enseñanza y aprendizaje y entre profesores y alumnos, y por su parte la dimensión epistemológica, relaciona el conocimiento científico con el mundo. La elaboración de una unidad didáctica de enseñanza y aprendizaje considera las dimensiones didáctica y epistemológica, dentro del paradigma constructivista, donde los estudiantes construyen su conocimiento, en el cual el rol del profesor será promover un ambiente de clase en que se prime la cooperación y se facilite la expresión de distintos puntos de vista, todos valorados, y en el que se promuevan los pactos o acuerdos (Sanmartí, 2005).

Para la elaboración de esta unidad didáctica, se requiere planificar actividades que exploren las concepciones alternativas, debido a dos importantes razones: Para que el docente, pueda tener un registro de las mismas y para que los estudiantes formulen estas ideas explícitamente con el propósito de que las discutan entre ellos y con el profesor/a, para que sean conscientes de estas, anoten sus fundamentos y más adelante, las comparen con sus nuevas ideas (Jiménez-Aleixandre, 1991). Según esta autora, la insatisfacción de la idea previa (concepción alternativa) es necesaria, para ello se debe disponer de una situación nueva a la que la antigua no daba respuesta, esta nueva idea debe ser razonable y coherente con la concepción del mundo del sujeto.

Para la introducción de la nueva idea, es importante relacionarlo explícitamente con las ideas de los estudiantes y que tenga una organización adecuada. Según Jiménez-Aleixandre (1991) el aprendizaje así efectuado puede ser significativo e incluso activo para que los estudiantes realicen sus propios significados y responda a un problema que tienen planteado en ese momento: cómo interpretar fenómenos o situaciones que las concepciones alternativas no explican, así existe una reestructuración activa del conocimiento y aplicación de nuevas ideas. Según este autor, los estudiantes deben manejar las nuevas ideas y utilizarlas en situaciones variadas y con ejemplos diferentes a los empleados en la instrucción, donde los conocimientos deben ser transferidos a contextos distintos.

La reflexión anterior nos propone el desafío de la elaboración de una secuencia de enseñanza y aprendizaje que considere las dimensiones didáctica y epistemológica, dentro del paradigma constructivista, en el que los estudiantes construyen su conocimiento, en el cual el rol del profesor será promover un ambiente de clase en que se prime la cooperación entre los estudiantes.

La propuesta de esta SEA es realizar actividades contextualizadas, integradas al contenido de evolución humana, específicamente a comprender el origen de los rasgos de hominización como el bipedismo y aumento volumen craneal, a través del mecanismo de selección natural y los factores que influyeron en su origen, y la incorporación de NOS, principalmente en la enseñanza de tres aspectos de ésta: observación e inferencia, base

empírica y el método científico, para ayudar a los estudiantes a reconocer las características de la naturaleza de la ciencia y cómo la ciencia es practicada por los científicos incluidos los biólogos evolutivos.

Objetivo general

Diseñar e implementar una secuencia de enseñanza y aprendizaje para promover la comprensión de la evolución humana incorporando la naturaleza de la ciencia y el mecanismo de selección natural, por parte de estudiantes de tercero medio de la comuna de Peñalolén.

Objetivos Específicos

- a) Diseñar una secuencia de enseñanza aprendizaje para promover el aprendizaje de dos rasgos de hominización: el bipedismo y el aumento del volumen craneal incorporando la enseñanza de algunas características de NOS, como la diferencia entre observación e inferencia, la base empírica y la diversidad del método científico.
- b) Analizar el efecto de la implementación de la secuencia en el aprendizaje sobre evolución humana y NOS en un grupo de estudiantes de tercero medio plan diferenciado Biología.

Metodología

Tipo de estudio y diseño

Corresponde a un tipo de estudio cuantitativo de diseño cuasi experimental simple, de un solo grupo con medición previa (antes) y posterior (después) de la variable dependiente, pero sin grupo control. Esquema del diseño: $G O1 X O2$, donde:

X _ variable independiente (aplicación de la secuencia de enseñanza y aprendizaje).

$O1$ _ medición previa (antes de la secuencia) de la variable dependiente (comprensión de la NOS y evolución humana).

$O2$ _ medición posterior (después de aplicar la secuencia) de la variable dependiente (Bernal 2006).

El diseño consiste en contar con un grupo de estudiantes de tercero medio del plan común de Biología que participarán en la intervención de la secuencia didáctica diseñada. A este grupo se le hará una evaluación previa sobre las variables objeto de estudio (comprensión de la NOS y de la evolución humana) y, después de haber recibido la aplicación de la secuencia. Se realizará una nueva medición con el propósito de comparar los resultados antes y después de la intervención.

Muestra

Para los fines de la presente investigación, se contó con una muestra formada por 12 estudiantes de entre 16 a 17 años de edad, que cursaban tercero medio plan diferenciado Biología, en un colegio particular subvencionado de la comuna de Peñalolén, Santiago de Chile. Los estudiantes formaban parte del electivo de Biología, electivo compuesto de 12 mujeres y 5 hombres, nivel el cual se debe enseñar evolución humana, según el curriculum chileno vigente hasta el 2018. Este colegio posee un curso por nivel educacional, siendo el curso de tercero medio, el único del establecimiento, dividiéndose el curso en 18 estudiantes del electivo humanista y 17 estudiantes del electivo científico. Como criterio de selección se

tomaron en este estudio solo 12 estudiantes que participaron íntegramente del proceso, que estuvieron presentes desde el inicio, realizando el pre-test y post-test. Los otros 5 estudiantes por motivos personales de inasistencia, no estuvieron presentes en todo el proceso de intervención. El colegio presenta estudiantes con alto porcentaje de vulnerabilidad, ya que proviene de familias de bajos recursos, son estudiantes de padres separados, que solo han completado la gran mayoría el cuarto medio y son pocos los que han llegado a estudios superiores. Algunos de los padres, sufren problemas de adicción a las drogas, abandonando a los estudiantes a temprana edad y dejándolos al cuidado de parientes. Respecto a los resultados académicos, los estudiantes del colegio se caracterizan por tener bajos resultados en la prueba de selección universitaria (PSU) siendo el puntaje promedio alrededor de 460 puntos en ciencias. En cuanto al promedio de notas durante el primer semestre del 2015, el electivo científico obtiene un promedio general de 5,2.

Instrumentos

Antes de la intervención de la secuencia, los estudiantes debieron contestar dos cuestionarios como pre-test, los cuales fueron aplicados en formato online junto a la presencia del profesor encargado de la intervención quien contestó las dudas de los estudiantes. Se utilizaron 3 horas pedagógicas para la aplicación de los cuestionarios en el curso. Para evaluar la comprensión de la NOS que tenían los estudiantes antes y después de la intervención, se utilizó el cuestionario VNOS-D+ (de su significado en inglés view of nature of science), desarrollado por Lederman et al., (2002). Este cuestionario consta de 8 preguntas de desarrollo las cuales tienen como objetivo evaluar la comprensión de 7 aspectos de la naturaleza del pensamiento científico: su carácter empírico, su revisión constante o tentatividad, el aporte de la creatividad e imaginación, su carácter subjetivo, la diferencia entre observación e inferencia, su organización en teorías, leyes e hipótesis y el factor socio-cultural que incluye a la generación del conocimiento (Lederman 2010; Cofré, 2012).

Otro de los cuestionarios que realizaron los estudiantes, fue un cuestionario de evolución humana, cuyas respuestas nos entregan datos de sus concepciones alternativas relacionadas a evolución humana y NOS. Este cuestionario fue creado especialmente para este trabajo en base a las preconcepciones documentadas en estudios realizados a nivel mundial (Gregory, 2009; Gutiérrez, 2009; Kampourakis y Zogza, 2007; Pazza et al., 2007). La validez de constructo y contenido fue obtenida mediante la revisión de tres académicos expertos en el tema de la enseñanza de la evolución. El cuestionario fue piloteado en un grupo de 18 estudiantes de pedagogía en Biología pertenecientes a una universidad tradicional para corroborar su validez de constructo. Este instrumento consta de 4 preguntas abiertas relacionadas a la aceptación de la evolución humana (pregunta 3) y a la comprensión del mecanismo de selección natural (preguntas 1, 2 y 4).

Procedimiento

En primer lugar se recolectaron insumos para la planificación de la secuencia, lo que incluyó 3 etapas 1) Evolución humana y NOS en el curriculum nacional 2) La evolución humana y NOS en los libros de texto y 3) Concepciones alternativas de los estudiantes en torno a evolución humana y NOS. En segundo lugar, se planificó una SEA para la enseñanza de la evolución humana y naturaleza de la ciencia, la cual fue validada a través de una validación interna y otra externa. A partir de esto se llegó a una SEA final con las

modificaciones pertinentes al proceso de validación. En tercer lugar en la fase de investigación se aplicaron las distintas actividades de la SEA y se levantaron datos con los cuales se comparan las respuestas de dos cuestionarios realizados a los estudiantes como pre-test y post-test: Uno referente a los conocimientos de evolución humana, el otro referente a las características de la naturaleza de la ciencia. Esta comparación se evalúa a través de una rúbrica elaborada por un equipo de expertos relacionados al área de evolución humana y naturaleza de la ciencia.

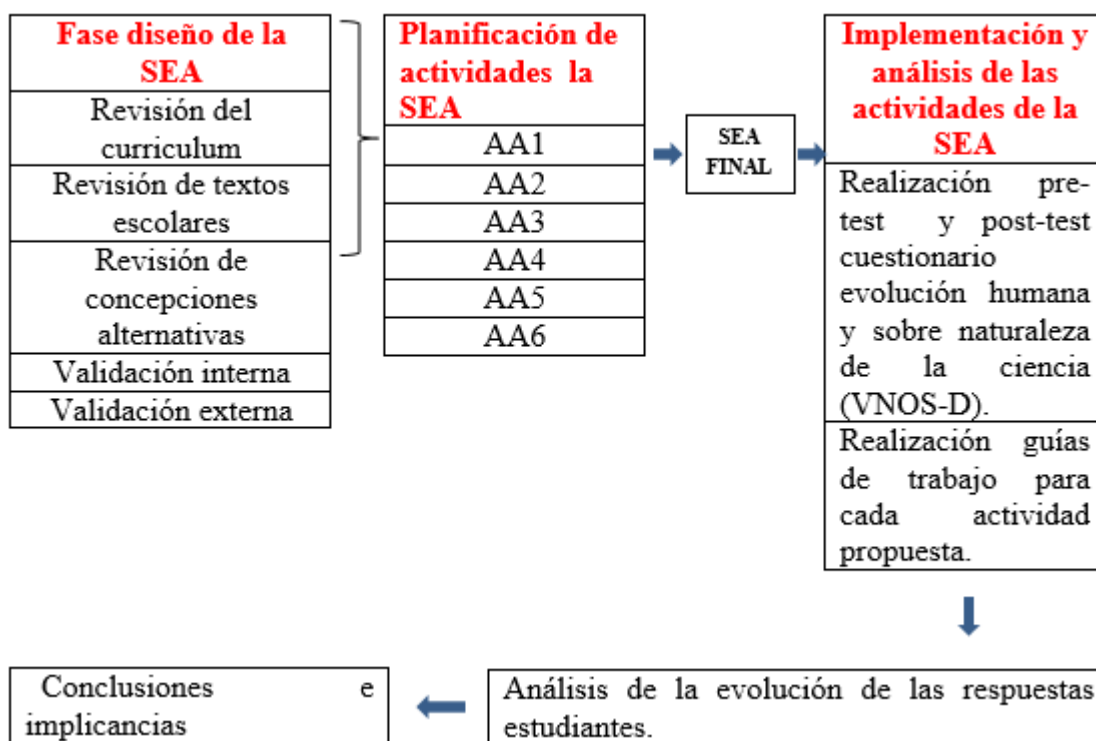


Figura 1. Organización de las etapas del diseño, planificación, implementación y análisis de las actividades de la secuencia didáctica.

Intervención

La presente unidad didáctica se organiza en dos ciclos de aprendizaje, el primer ciclo se centra en actividades que enseñan naturaleza de la ciencia y evolución humana y el segundo ciclo se enfoca en enseñar el mecanismo de selección natural en la evolución humana. Mediante el desarrollo de las actividades a través de guías de trabajo, revisión de videos y la respuesta a ticket out. Se espera que los estudiantes puedan mejorar las habilidades de pensamiento científico como observar, inferir, formular explicaciones y conclusiones a partir de evidencia de los fenómenos abordados. El diseño didáctico se fundamenta desde el ciclo de aprendizaje constructivista (Jorba y Sanmartí, 1996) el cual considera las siguientes cuatro fases:

- a. **Exploración:** Los estudiantes explicitan sus representaciones mentales sobre algún concepto en particular de estudio, por ejemplo, trabajo del paleoantropólogo.

- b. Introducción:** Se proporciona a los estudiantes nuevos conceptos para analizar el problema propuesto con el fin de relacionar los conocimientos anteriores y los nuevos, por ejemplo, a través de la revisión de videos.
- c. Estructuración:** El estudiante explicita lo que ha ido aprendiendo y cuáles son los cambios en sus puntos de vista, por ejemplo, comunica sus conclusiones de lo aprendido al resto de los compañeros de su grupo.
- d. Aplicación:** El estudiante debe dar solución a una nueva problemática en base a lo construido en las tres fases anteriores. Esta fase se aplica en las últimas clases (6 y 7) de esta secuencia didáctica.

Cada clase dispone de 3 horas pedagógicas, es decir, 135 minutos cada una. Las actividades realizadas se resumen en la Tabla 1.

Análisis de datos

Para realizar el análisis solo se consideraron los estudiantes que estuvieron tanto en el momento de responder los cuestionarios al inicio y al final, así como en la mayoría de las clases, lo cual disminuyó el número final de estudiantes presentes en el estudio (de 17 estudiantes a 12 estudiantes), debido a las ausencias de los estudiantes. A partir de las respuestas abiertas del cuestionario de evolución humana, se pudo determinar tanto los elementos correctos en las respuestas, como la presencia de preconcepciones sobre el mecanismo de evolución por selección natural. Las rúbricas para cada tipo de conocimiento se han generado a través del análisis de la literatura sobre conceptos erróneos de los estudiantes en los temas de la selección natural (véase Cofré et al., 2013, 2017). Este estudio siguió la propuesta de Kampourakis y Zogza (2007) en términos de distinguir las concepciones alternativas acerca de la evolución por la necesidad y explicaciones genuinamente Lamarckianas por uso y desuso. También se reconoció la evolución a través de la supervivencia diferencial o darwiniana y respuestas donde no se da un mecanismo específico (Cofré et al., 2013).

Para poder realizar un análisis cuantitativo del cambio en la comprensión del mecanismo de selección natural por los estudiantes, se contabilizaron para cada pregunta (3 en total), el número de conceptos correctos y el número de preconcepciones incluidas en cada respuesta. Junto a la creación de estas dos variables, se generó una variable final de conocimiento al sumar cada una de las variables anteriores. Para ello la presencia de preconcepciones tomo un valor negativo. Así, si una respuesta incluyó 2 conceptos correctos y 3 errores conceptuales el valor de las variables fue el siguiente: conocimiento correcto = 2; presencia de preconcepciones = 3; valoración (score) del conocimiento total = -1 (2 - 3).

Tabla 1. Actividades realizadas en cada una de las clases de la secuencia.

Clase y fase de la SEA	Contenido/actividad	Concepción alternativa a trabajar
Clase 1: Aplicación cuestionarios pre-test	Aplicación cuestionarios Evolución humana y VNOS-D	Todas las concepciones mencionadas.
Clase 2: Actividad exploración e introducción (NOS Y EVOLUCION)	¿Qué conoces de nuestro origen? Huellas de Laetoli Ticket de salida	No existen suficientes evidencias fósiles que demuestren la evolución del hombre.

Clase 3: Actividades de estructuración y aplicación (NOS Y EVOLUCION)	¿Venimos del mono? Ticket de salida	La especie humana proviene directamente del mono (Evolución lineal).
Clase 4: Actividad de aplicación (NOS Y EVOLUCION)	Lo que los huesos nos pueden decir. Ticket de salida	Ambas concepciones anteriormente mencionadas.
Clase 5: Actividades exploración e introducción (EVOLUCION Y SELECCIÓN NATURAL)	¿Eres intolerante a la lactosa? Ticket de salida	No existen evidencias de que la selección natural actúe en la especie humana.
Clase 6: Actividades de estructuración (EVO Y SELECCIÓN NATURAL)	¿Qué entendemos por selección natural?	Los rasgos del hombre se originan por las necesidades del ambiente.
Clase 7: Actividades de Aplicación (EVO Y SELECCIÓN NATURAL)	¿El rasgo del bipedismo se origina por selección natural?	Los rasgos del hombre se originan por las necesidades del ambiente.
Clase 8: Aplicación cuestionarios post-test	Cuestionarios evolución humana y VNOS-D	Todas las concepciones anteriormente mencionadas.

El análisis de datos para el cuestionario VNOS-D+ (Lederman et al., 2002) implicó la creación de un perfil para cada participante en función de su comprensión de la naturaleza de la ciencia. Para el análisis del pre-test y post-test participaron 9 estudiantes a los cuales se les analizó sus respuestas, los tres participantes restantes se ausentaron al aplicar el post-test. De acuerdo a la literatura vigente se asignaron tres niveles de comprensión para cada respuesta de los estudiantes en relación a cada uno de los aspectos de naturaleza de la ciencia estudiados (Akerson; Donnelly, 2008; Akerson et al., 2000; Lederman et al., 2002; Cofré et al., 2014). Si una respuesta demostraba claramente que la opinión del estudiante se alineó con la opinión recomendada, la respuesta fue codificada como "informada" (asignándosele un valor 2). Si la respuesta fue alineada con la posición recomendada, pero no estaba completamente desarrollada o descrita o era simplemente una reiteración de una definición proporcionada, fue codificado como "mixta" (con valor 1). Si la respuesta demostró que la opinión del estudiante no se alineó con la posición exacta, la respuesta se codificó como "Ingenua" (con valor 0).

Resultados

En la siguiente sección se describirán los resultados por cada uno de los dos temas estudiados en esta investigación: comprensión de la naturaleza de la ciencia y evolución humana a través del mecanismo de selección natural.

Comprensión de la naturaleza de la ciencia

En cuanto a NOS se puede observar en la Tabla 1 que existe una mejora en tres aspectos de naturaleza de la ciencia. Estos aspectos son la observación e inferencia, la base empírica y la tentatividad. Estos resultados pueden responder a que en las primeras clases se trabajó los aspectos de observación e inferencia y base empírica con ejemplos del trabajo de un paleoantropólogo, huellas de Laetoli y medición de cráneos, así como la observación de videos, donde explícitamente tuvieron que observar e inferir y obtener conclusiones a partir

de los datos empíricos obtenidos. El aspecto del método científico, mantuvo un nivel de preconcepciones similar al inicial, lo cual se puede deber a que los estudiantes tuvieron como referencia solamente el trabajo de los paleoantropólogos, no viendo otros ejemplos de los métodos de trabajo de otros científicos. En los aspectos de la creatividad, subjetividad, teoría y ley se mantienen las preconcepciones, observando casi los mismos resultados tanto para el pre-test como post-test. Este resultado es esperable y se puede deber a que estos aspectos no fueron trabajados explícitamente en esta intervención.

Tabla 2. Número de estudiantes en cada una de las categorías de visión de ciencia para cada uno de los aspectos de Naturaleza de la ciencia.

Visión de la ciencia	Tentativa		Empírico		Observación e inferencia		Creatividad		El método		Subjetividad		Teoría y Ley	
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
Ingenua	0	1	1	0	6	0	1	1	4	3	1	0	9	9
Mixta	7	1	0	0	3	6	2	2	5	6	5	6	0	0
Informada	2	7	8	9	0	3	6	7	0	0	3	3	0	0

Comprensión de la evolución humana a través del mecanismo de selección natural

En cuanto a la comprensión de la evolución humana, la Figura 2 muestran que existen 3 estudiantes que utilizan más errores conceptuales en el post-test que en el pre-test, 3 estudiantes que mantienen la cantidad de errores conceptuales tanto en el pre-test como en el post-test y 6 estudiantes que mejoraron la comprensión del mecanismo de selección natural al presentar menos errores conceptuales en el post-test en comparación con el pre-test. Aún persisten ciertos errores conceptuales en los estudiantes como el cambio por necesidad del ambiente, uso y desuso de órganos o que el hombre evoluciona del mono.

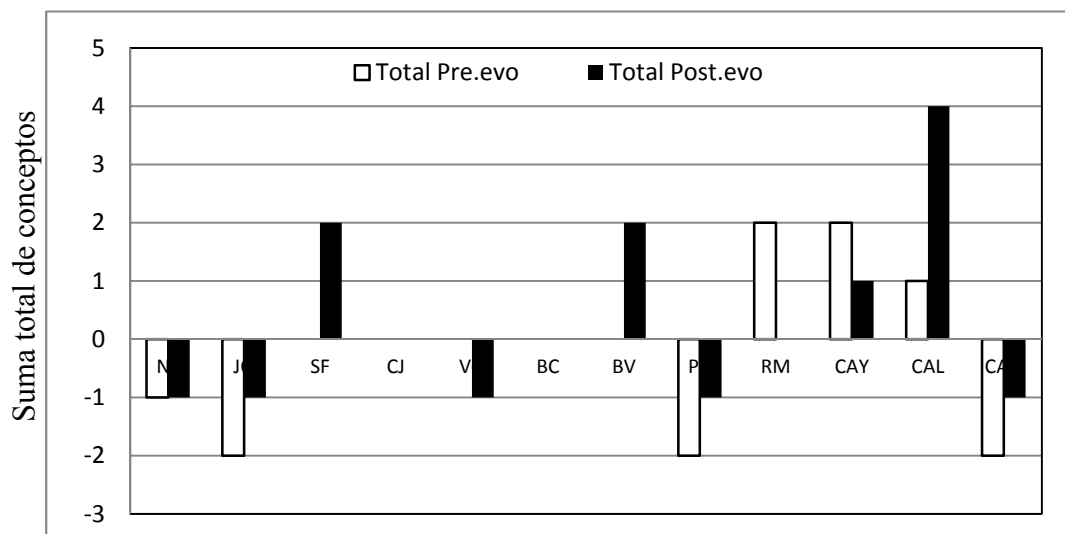


Figura 2. Suma total de conceptos de la comprensión de evolución humana a través del mecanismo de selección natural (Preguntas abiertas 1, 2 y 4 del cuestionario de evolución humana) en cada uno de los estudiantes que participaron en la secuencia (12). La suma total incluyó: el número de errores conceptuales que tenían las respuestas (asignándoles valores negativos) y el número de conceptos correctos en relación a la selección natural y evolución no lineal del *Homo sapiens*.

Conclusiones

Naturaleza de la ciencia

De acuerdo a la tabla 2, en la evaluación del pre-test, los estudiantes mostraron una baja comprensión de la mayoría de los aspectos de NOS. Estos resultados coinciden con lo descrito en la literatura actual, respecto a que estudiantes de ciencia no poseen una buena comprensión de las características de la ciencia, no poseen una visión informada del tema, por lo que mantienen una serie de mitos y errores conceptuales en relación de lo que es la ciencia y el quehacer científico (Lederman 2007, Cofré, 2012).

Por otro lado, algo que también coincide con lo descrito en estudios anteriores es que a aquellos estudiantes que no se les enseña explícitamente naturaleza de la ciencia, no logran aprendizajes en este tema. En este trabajo se encontraron algunas mejoras entre el pre y post test, especialmente en aspectos como observación e inferencia, tentatividad y base empírica, por lo que podemos responder a nuestra pregunta de investigación, que si existen cambios que mejoran la comprensión de algunos aspectos de NOS. Esto concuerda con la literatura revisada (Cofré, 2012) ya que señala que la efectividad de estas estrategias para enseñar NOS, es mayor cuando se enseñan los temas socio-científicos y de cambio conceptual, como en nuestro caso. Es interesante hacer notar que la enseñanza de estos aspectos en esta secuencia se realizó dentro de actividades contextualizadas, específicas o integradas a contenidos, como es el de evolución humana lo cual refuerza la idea de la eficacia de este tipo de actividades (Clough, 2006).

Como señalamos en el marco teórico, existe una escasa enseñanza de los aspectos de la NOS en los textos escolares y programas de estudio que promuevan su enseñanza, siendo un máximo de dos aspectos citados en los aprendizajes esperados en algunos niveles de educación secundaria chilena (Cofré, 2012).

Evolución humana y selección natural

Los resultados de este estudio, muestran que el aprendizaje del mecanismo de selección natural de los estudiantes no es completo, ya que varios de ellos aun después de la secuencia mantienen algunas de las concepciones alternativas mencionadas en el marco teórico. Esto es de esperar ya que las concepciones alternativas de los estudiantes en el tema de evolución y selección natural no son fáciles de cambiar (Kampourakis y Zogza 2009; Gonzalez-Galli y Meinardi 2015), porque les resultan adecuadas para interpretar la realidad, y a menudo persisten incluso entre personas con estudios de Ciencias (Jiménez- Aleixandre 1991). Durante el post-test persisten muchas respuestas relacionadas a la evolución por necesidad, por uso de órganos, para que el homínido logre sobrevivir al medio ambiente.

Algunas respuestas de estudiantes, referente a la pregunta abierta número 1 del cuestionario de evolución humana:

“Que en un futuro estas muelas ya no serán necesarias, ya que cada vez ingerimos comidas más blandas y etc.” (Respuesta por necesidad)

“Quizás más adelante nuestro organismo se acostumbrara a nuestro entorno y no tenga necesidad de salir la muela del juicio, ya que quizás no será necesario ocuparlo” (uso y desuso órganos: Lamarckiana y necesidad)

“El gen que permite la aparición de estas muelas crea este rasgo ... puede desaparecer como mantenerse en el tiempo depende de la variabilidad genética con la que determine al individuo. si la variabilidad determina que el gen que no crea el rasgo se mantenga en el tiempo los individuos saldrán con el beneficio ya que hoy en día aquel tercer molar se extrae, en cambio, aquellos que tengan el gen de que si cree el rasgo solo sufrirán dolor”

Esta respuesta coincide con lo que la literatura nos señala referente a que las explicaciones alternativas de los estudiantes son mucho más complejas, las cuales pueden incluir combinación de las ideas Teleológicas, Lamarckistas y Darwinistas (e.g. Cofré et al., 2013, 2015; Nehm; Ha, 2011). Como mencionamos en el marco teórico, según Tamayo González (2012), muchos de los alumnos suelen pensar que la adaptación biológica se refiere a que los organismos efectúan conscientemente cambios físicos en respuesta a cambios ambientales, de tal forma que el mecanismo evolutivo se basaría en una mezcla de necesidad, uso y falta de uso, como se repetía en las respuestas del post-test. Un ejemplo de respuesta sería este:

“Que a través de que nuestro organismo tiene la obligación de adaptarse al entorno, el hombre al ir evolucionando iban generando mayor capacidad craneal, ya que necesitaba nuevas formas de sobrevivir con las pocas necesidades que este poseía”.

Por último, hay que señalar que las concepciones alternativas persisten ya que están siguen siendo divulgadas erróneamente por los medios de comunicación o la ciencia escolar: la selección natural consiste en la supervivencia del más fuerte; o el chimpancé es un antepasado de los humanos, ya que procedemos de los monos.

“Los homínidos que tuvieron el rasgo de bipedismo sobrevivieron y los que no tuvieron este rasgo murieron por la selección natural. La adaptación más importante fue el rasgo del bipedismo” (La respuesta nos da a conocer que el estudiante comprende que el rasgo favorece la supervivencia del homínido, por selección natural y distingue que dentro de la población existen homínidos con el rasgo y sin el rasgo (variabilidad).

Se citan ejemplos de algunas respuestas de los estudiantes, referente a la pregunta abierta número 2 y número 3 respectivamente, del cuestionario de evolución humana:

“Estoy de acuerdo con todo menos con el mono porque no venimos de el, sino que tenemos un antepasado en común” (Esta respuesta nos muestra que el estudiante comprende que no existe una evolución lineal del mono al hombre, sino que compartimos un ancestro con el).

“Por los fósiles que han encontrado, herramientas y porque infieren más o menos cuál era su apariencia” (Esta respuesta nos muestra que el estudiante comprende que los científicos (paleoantropólogos) utilizan como evidencia los fósiles (base empírica) y a partir de estos, infiere para sacar conclusiones de su aspecto).

Estas respuestas nos dan cuenta del aprendizaje alcanzado por los estudiantes en esta secuencia.

Metodología aplicada

Es importante rescatar que el que hayan mejorado algunas concepciones alternativas de NOS y evolución y el mecanismo de selección natural, es gracias a la aplicación de la secuencia didáctica con actividades que promueven su mejor comprensión. Esta secuencia didáctica tenía como función la construcción de los aprendizajes de parte de los estudiantes, en un clima de cooperación al promover el trabajo grupal y facilitar la expresión de sus ideas, respetando los acuerdos (Sanmartí, 2005).

También en esta SEA, se planificó trabajar con actividades que exploración para conocer las concepciones alternativas de los estudiantes de la intervención con el fin de hacerlos conscientes de estas, las discutan entre ellas y posteriormente las puedan comparar (Jiménez-Aleixandre, 1991). Sin duda los resultados de la efectividad de esta SEA, nos hace reflexionar en que la enseñanza impartida no haya sido lo suficientemente efectiva para realizar el cambio conceptual que se esperaba. Citaremos dos motivos del porque consideramos esta idea: Dentro de las actividades que no desarrollamos en esta SEA por motivos de tiempo y actividades extraprogramáticas de los estudiantes, es la comparación de las respuestas que daban al comienzo con sus respuestas actuales, tanto en las actividades mismas de la SEA como en los cuestionarios realizados.

Otra de las actividades no desarrolladas de manera eficiente es haber realizado actividades en situaciones variadas y con ejemplos diferentes de los empleados en la enseñanza de la SEA, relacionados a evolución humana, selección natural y NOS, para que los estudiantes logren transferir sus conocimientos a contextos distintos (Jiménez-Aleixandre, 1991).

Implicancias en el aula y limitaciones

Los materiales y estrategias que se proponen en esta secuencia didáctica, tienen en cuenta las concepciones alternativas tanto en su diseño como en su implementación, actividades prácticas que permiten al estudiante trabajar algunos aspectos de NOS y evolución humana, dando a conocer que estos se pueden trabajar de esta forma y no en base necesariamente a experimentos, lo que nos permite tener resultados que tienen a ser más favorables que negativos, pero a futuro, se debe considerar, que estos resultados se han obtenido en un contexto donde se debe prestar atención a las motivaciones, clima aula, necesidades de los estudiantes y profesores, es por ello que se hacen necesarios otros estudios con temas o situaciones diferentes para poder llegar a conclusiones más generales.

Hay que enseñar la evolución y selección natural considerando las preconcepciones acá señaladas y enseñar los conceptos de manera integrada, ya que generalmente son enseñados de forma fragmentada en otros niveles de educación media, como por ejemplo, un aprendizaje significativo del mecanismo de selección natural, requiere que exista un estudio detallado de la genética conjuntamente con la selección natural.

La evidencia de trabajar en clase con estrategias orientadas al cambio conceptual, requiere disponer de tiempo. Esto implica un cambio del curriculum chileno, en cuanto a la reducción de contenidos y a los tiempos destinados para su enseñanza, como también la integración de contenidos estrechamente relacionados.

La enseñanza del proceso de selección natural es importante y debe mejorarse tanto en textos de enseñanza como en la formación de profesores. Para enseñar evolución y selección natural, es necesario variar las estrategias de enseñanza para ir motivando a los estudiantes y para evitar la reiteración de sus respuestas.

Sugerimos que este análisis puede suponer un aporte significativo a la mejora de la enseñanza de estos contenidos ya que tener en cuenta las concepciones alternativas, estrategias didácticas, puede resultar más fructífero, dado el carácter transversal de los mismos.

En cuanto a las dificultades para la implementación de la secuencia, se encuentra el tema de la inasistencia a clases por parte de estudiantes, ya que generaba que algunos equipos debían trabajar con menos integrantes, tomando más tiempo para el desarrollo de las actividades, así como también se veía interrumpido el proceso de aprendizaje de aquellos estudiantes atrasados y ausentes.

Pensando en futuras investigaciones, la implementación de esta secuencia podría servir como pilotaje y ser aplicada nuevamente con las modificaciones sugeridas. También sería interesante diseñar nuevas actividades que permitan trabajar otras.

Agradecimientos: Producto científico derivado de los proyectos FONDECYT 1150659 y FONDECYT N°1131029, patrocinado por CONICYT – CHILE.

Bibliografía

- Acevedo, J. (2009). Enfoques explícitos versus implícitos en la enseñanza de la naturaleza de la ciencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6 (3), 355-386.
- Adúriz-Bravo, A., Izquierdo, M., Estany, A. (2002). Una propuesta para estructurar la enseñanza de la filosofía de la ciencia para el profesorado de ciencias en formación. *Enseñanza De Las Ciencias*, 20(3), 465 – 476.
- Banet, E., Ayuso, G. E. (2003). Teaching of biological inheritance and evolution of living beings in secondary school. *International Journal of Science Education*, 25 (3), 373-407.
- Bernal, C. (2006). Metodología de la investigación. 2 ed. México. Editorial Pearson.
- Bishop, B. A., Anderson, C. (1990). Student conceptions of natural selection and its role in evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, 27, (5) 415-427.
- Camus, P. (2009). Educación Científica y Evolutiva en Chile. Problemas funcionales y conflictos entre enseñar y aprender. *Gayana*, n. 73, (Suplemento), 19–31.
- Clough, M.P. (2006). Learner's responses to the demands of conceptual change: Considerations for effective nature of science instruction. *International Journal of Science Education*, 15, 463-494.
- Cofré H. L. (2012). La enseñanza de la Naturaleza de la Ciencia en Chile: del currículo a la sala de clases. *Revista Chilena de Educación Científica*, 11, (1), 12–21.
- Cofré, H., Vergara, C., Santibáñez, D., Jiménez, J. (2013). Una primera aproximación a la comprensión que tienen estudiantes universitarios en Chile de la Teoría de la Evolución. *Estudios Pedagógicos*, 39(2), 7 -26.
- Couso, D. (2008). Las secuencias didácticas en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias: Modelos para su diseño y validación. En Caamaño, *Didáctica de la Física y la Química* (págs. 57 - 83). Barcelona: Grao.
- Donoso, S. (2005). Reforma y Política Educacional en Chile 1990-2004: El Neoliberalismo en Crisis. *Estudios Pedagógicos*, 31(1), 113-131.
- Futuyma, D. (2009). Evolution. 2. ed. Sunderland: Sinauer.
- González Galli, L., Meinardi, E.(2011). The role of teleological thinking in learning the darwinian model of evolution. *Evolution: education & outreach*, 4, (1), 145-152.
- Gregory, TR. (2009). Understanding Natural Selection: Essential Concepts and Common Misconceptions. *Evolution: Education and Outreach*, 2009, 2, (2), 156-175.
- Gutiérrez, A. (2009). *Biología. La teoría de la evolución en la escuela*. Buenos Aires: Editorial Biblos.
- Jiménez-Aleixandre, M. (1991). Cambiando las ideas sobre el cambio biológico. *Enseñanza de las Ciencias*, 9, (3), 248-256.
- 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.
- Lederman, N. (1992). Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 331-359.
- Lederman, N.G. (2007). Nature of science: Past, present, and future. En S.K. Abell y N.G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 831-879). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Lombrozo, T., A. Thanukos, Weisberg, M.(2008). The importance of understanding the nature of science for accepting evolution. *Evolution: Education and Outreach*, 1, 290-298.
- Medel, R. (2008). The evolution of evolutionary thinking in Chile. *Evolution: Education & Outreach*, 1, 318–322.
- Miller, J.D., Scott, E. C., Okamoto S. (2006). Public acceptance of evolution. *Science*, 313: 755–756.
- Méheut, M., Psillos, D.(2004). Teaching – learning sequences: aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, 26(5), 515 – 535.
- Mc Comas, W. (1998). The principal elements of the nature of science: Dispelling the myths. En: Mc Comas (Ed.). *The Nature of Science in Science Education*, (primera ed., pp. 53-70). Netherlands: Kluwer Academic Publisher.
- MINEDUC, (2009). *Evolución Ecología y Ambiente. Programa de estudio de tercer año medio. Formación diferenciada*. Santiago de Chile. Ministerio de Educación.
- MINEDUC, (2011). *Programa de estudio para Octavo Año Básico*. Santiago de Chile. Ministerio de educación.
- MINEDUC, (2015). *Ajuste curricular en Chile. Unidad de currículum y evaluación. Programa de estudio para tercer año medio*. Santiago de Chile: Ministerio de Educación.

- Nehm, R.H., Reilly, L. (2007). Biology majors' knowledge and misconceptions of natural selection. *BioScience*, n. 57, 263–272.
- Nehm, R. H., Ha, M. (2011). Item Feature Effects in Evolution Assessment. *Journal of Research in Science Teaching*. 48, (3), 237–256.
- Pazza, R., Penteado, P., Kavalco, K. (2010). Misconceptions about evolution in brazilian freshman student. *Evo Edu Outreach*, 3(1), 107-113.
- Pozo, J., Gómez, M.(1998). *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Madrid: Morata.
- Ridley, M. (2004). *Evolution*. 3. ed. Malden: Blackwell.
- Rudolph, J.L., Stewart, J.(1998). Evolution and the nature of science: on the historical discord and its implications for education. *Journal of Research in Science Teaching*, 35, 1069–1089.
- Sanmartí, N. (2005). La unidad didáctica en el paradigma constructivista. En D. Couso, E. Badillo, G. Perafán, & A. Adúriz-Bravo, *Unidades didácticas en ciencias y matemáticas* (págs. 13-58). Colombia: Cooperativa Editorial Magisterio.
- Smith, M. (2010). Current status of research in teaching and learning evolution. I. philosophical/epistemological issues. *Science & Education*, 19, (4-8), 523-538.
- Tamayo M., González F. (2010). La enseñanza de la evolución en Chile. Historia de un conflicto documentado en los textos de estudio de enseñanza media. *Investigações e m Ensino de Ciencias*, 15, 310–336.