

## **B. Revisiones, Opiniones y Debates**

---

### **La Historia de la Ciencia como elemento catalizador de la enseñanza de la Biología y la Naturaleza de la Ciencia**

Paola Núñez\*, José M. Pavez\*\*, David Santibáñez\*\*\*, Beatriz Becerra\* y Hernán Cofré\*

\* Instituto de Biología, Facultad de Ciencias, P. Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile

\*\* Departamento de Educación en Matemáticas y Ciencias, Facultad de Educación, Universidad de Georgia, USA.

\*\*\* Facultad de Educación, Universidad Católica Silva Henríquez, Santiago, Chile.

#### **Resumen**

Pese a que educadores en ciencia reconocen a la historia de la ciencia (HOS) como un elemento importante para la enseñanza de la ciencia y de la naturaleza de la ciencia (NOS), los profesores no parecen reconocer el valor que posee la HOS, ni disponen de materiales para incorporarla en sus aulas. En este trabajo se revisa el papel que juega la HOS en la enseñanza de la ciencia, como un elemento motivador para la enseñanza de contenidos conceptuales, para fomentar el espíritu crítico, para invitar a los estudiantes a hacerse preguntas, para identificar sus obstáculos conceptuales y para la enseñanza de NOS. Se analizarán los distintos elementos históricos que se han propuesto para incluir en las estrategias didácticas, donde destacan los errores científicos, experimentos clásicos, disputas, desarrollo de teorías, entre otros. En cuanto a los enfoques de enseñanza para incorporar la HOS en la clase de ciencia, se revisan tanto modelos implícitos (Monk y Osborne, 1997), como explícitos (Paraskevopoulou & Koliopoulos, 2010, Rudge y Howe (2009). Para ejemplificar tanto elementos históricos usados como modelos de enseñanza de la HOS, se expone una propuesta para la enseñanza de la genética, considerando el desarrollo histórico de la teoría de la herencia para enseñar algunos conceptos científicos y algunos aspectos de NOS. Luego de realizar una revisión de los programas de estudio vigentes en Chile se evidencia la mención recurrente de elementos de la HOS, pero sin mayores propuestas didácticas para su incorporación en las clases. Finalmente se discuten las implicancias y desafíos del uso de HOS para la enseñanza de las ciencias y la formación inicial y continua.

**Palabras claves:** Historia de la ciencia, naturaleza de la ciencia, curriculum en biología, formación docente.

#### **Introducción**

Actualmente, existe consenso en que para conseguir la alfabetización científica de todas y todos los estudiantes, el objetivo principal de la enseñanza de la ciencia, los profesores de ciencias no solo tenemos que enseñar contenido científico, sino también cómo este conocimiento científico se crea, y cómo esto puede afectar a la sociedad (Osborne, Collins, Ratcliffe, Millar y Duschl, 2003; Harlen 2010; Lederman y Lederman, 2014; MINEDUC 2013). El contenido curricular, en el cual los estudiantes aprenden cómo se genera el conocimiento científico y cómo los científicos hacen lo que hacen, se ha denominado Naturaleza de la Ciencia por los educadores en ciencia (NOS desde ahora en adelante por su

abreviatura en inglés, nature of science) (Lederman y Lederman, 2014; MINEDUC, 2013; McComas y Kampourakis, 2015).

En Chile, las nuevas bases curriculares del 2013 para 7° básico a 2° medio, ponen a la naturaleza de la ciencia en un lugar importante en el curriculum nacional de ciencias planteando que: “*Se espera que a lo largo de este ciclo, al trabajar los Objetivos de Aprendizaje de estas Bases, los estudiantes adquieran un conjunto de ideas sobre la naturaleza de la ciencia*” (Mineduc, 2013 p.145). Algunas de estas ideas son:

- El conocimiento científico está basado en evidencia empírica
- El conocimiento científico está sujeto a permanente revisión...
- Las explicaciones, las teorías y los modelos científicos son los que mejor dan cuenta de los hechos conocidos en su momento, entre otros.

En este contexto, la historia de la ciencia (HOS desde ahora en adelante por su abreviatura en inglés, History of Science) puede desempeñar un papel relevante, ya que constituye un puente entre los contenidos que se deben enseñar, y el contexto social y científico en que este conocimiento fue elaborado (Abd-El-Khalick y Lederman, 2000; Rudge y Howe, 2009; Allchin, 2013; McComas, 2013). Por ejemplo, el revisar episodios históricos de controversia o disputas en la ciencia puede proporcionar un contexto social propicio para que los estudiantes comprendan cómo los descubrimientos y teorías científicas surgen, no solamente a partir de datos empíricos y observaciones objetivas, sino también a partir de ideas subjetivas (basadas en teorías) y cargadas de creatividad por parte de los científicos, además de consensos, discusiones y negociaciones dentro de la comunidad científica. Además, si estos episodios históricos son trabajados directamente por el estudiante (no expuestos como una anécdota), su inclusión también puede ser una herramienta útil para desarrollar diferentes habilidades científicas en ellos, como por ejemplo, la argumentación (Clary y Wandersee, 2013). Sin embargo, muchas veces la enseñanza de la ciencia en los establecimientos de Chile y el mundo, tiende a centrarse sólo en la enseñanza de contenidos y con frecuencia se ignora la HOS y la enseñanza de NOS (Clough, 2006). Por otra parte, si bien existe mucha literatura que propone a la HOS como un elemento importante a la hora de mejorar los aprendizajes de NOS y de contenido científico (clamor que viene especialmente desde el ámbito de la filosofía e historia de la ciencia [e.g. Allchin 2013]), existen pocos estudios que hayan demostrado la eficacia de la HOS en la enseñanza y aprendizaje de contenidos científicos y de NOS (e.g. Kim y Irving, 2010; Paraskevopoulou y Koliopoulos, 2010; Pavez et al., 2016; Cofré et al., en prensa). Junto con esto, muchas veces los profesores de ciencia, al encontrarnos con textos o material sobre HOS, no sabemos cómo incorporarlo en nuestras clases de ciencia, o simplemente lo incorporamos como otro contenido que memorizar. Además no conocemos material disponible (especialmente en español) para incorporar la HOS en la enseñanza de las ciencias (aquí se pueden ver algunos ejemplos de material disponibles en: <https://goo.gl/TWdCGX>; ó <http://shipseducation.net/>) o el material que encontramos son propuestas teóricas que no siempre se han probado en el aula (e.g. Allchin, 2012a describe 16 ejemplos de episodios históricos en el desarrollo del conocimiento científico donde se pueden trabajar aspectos de NOS, pero no muestra datos de aula con los resultados de la aplicación de estos episodios).

Por todo lo anterior, el objetivo de esta revisión es sintetizar la información disponible en la literatura nacional e internacional, sobre qué es la historia de la ciencia en el contexto de la educación científica y cómo se puede utilizar para enseñar ciencia (tanto contenidos conceptuales como NOS). Adicionalmente, daremos algunos ejemplos concretos de cómo trabajar la HOS en el contexto de la clase de biología y discutiremos cómo se aborda este

componente curricular en los documentos oficiales y la formación de profesores de ciencias. Quedan a disposición del lector una serie de materiales para ser usados en el aula.

## Desarrollo

### ¿Qué es la Historia de la Ciencia?

La comprensión de lo que entendemos por HOS es un primer paso para poder discutir sobre sus aportes a la enseñanza de la ciencia y a la comprensión de NOS y de conceptos científicos. En tal sentido, HOS ha sido definido como los conocimientos científicos que se han heredado generación tras generación (Izquierdo, Quintanilla, Vallverdú y Merino, 2007). Otra propuesta más compleja de la HOS es la que proporciona Adúriz-Bravo (2011) y que reconoce otros significados, por ejemplo una disciplina académica que investiga los hechos o historiografía de la ciencia. Álvarez (2006) define la HOS como diferentes investigaciones que van desde la descripción de un instrumento o una máquina, pasando por una biografía de un premio Nobel, hasta el análisis de la estructura conceptual de una teoría.

Sin embargo, algo más concreto es preguntarse ¿qué es la historia de la ciencia en la enseñanza de la ciencia? En este sentido, podríamos pensar en la HOS tanto como un *elemento curricular* que debemos enseñar (qué enseñar), una *estrategia de enseñanza* que permite comprender mejor a los estudiantes ciertos conceptos científicos (cómo enseñar) o simplemente como un *recurso*, el que podemos incluir en nuestras clases (con qué enseñar). Desde nuestro punto de vista la HOS se puede entender de todas estas formas dado que en la literatura no hay una única visión. Como elemento curricular, podemos reconocer que existen ciertos aspectos históricos que han sido incluidos en nuestro currículo a través del tiempo (ver sección siguiente), o que nosotros, como profesores de ciencia, pensamos que es importante que los estudiantes conozcan (por ejemplo, los nombres y aportes de otros biólogos al nacimiento de la genética [como Thomas Morgan, Hugo DeVries o William Bateson], con el objeto de derribar el error conceptual de que Mendel fue el único creador de una disciplina completa). Como recurso, podemos pensar que la descripción de un experimento clásico en un libro de texto, el extracto de una película que toque aspectos históricos de la ciencia (como: “Creación”, sobre Darwin y su teoría) o la lectura de un artículo científico original, puede servir para enseñar conceptos de biología o el cómo se ha generado este conocimiento (NOS) (véase sección sobre *elementos de la HOS*). Sin embargo, ninguno de estos elementos tendrá un real impacto para el aprendizaje de las ciencias en nuestros estudiantes si no pensamos en la inclusión de la HOS como un elemento para desarrollar habilidades de pensamiento científico y la reflexión sobre los conceptos y el quehacer científico que los ha creado. Es por este motivo que existen diferentes *modelos propuestos* de como incluir la HOS en las clases de ciencia. Lo que sí está claro entre los educadores en ciencia y los profesores, es que la inclusión de datos curiosos, tablas con hechos históricos y fechas o más nombres como datos anecdóticos sin mayor profundidad, no es un gran aporte, ni para el aprendizaje de conceptos científicos, ni para comprender el cómo se hace ciencia o cómo se genera el conocimiento científico.

### ¿Cuál es el papel de la Historia de la Ciencia en la Enseñanza de la Ciencia?

Desde hace muchos años la HOS se ha propuesto como un elemento importante para incorporar en las clase de ciencia, tanto para la enseñanza de contenido, como para

comprender cómo es que este conocimiento se genera (Wang y Marsh, 2002; Clough, 2011; Allchin 2013; McComas, 2013). Por ejemplo, algunos estudios sostienen que la reflexión sobre la evolución del pensamiento científico, incorporando HOS, contribuye a desarrollar el espíritu crítico en los estudiantes (Álvarez, 2007). También se menciona que la enseñanza de la ciencia, incorporando elementos de HOS, puede promover la motivación de los estudiantes para el aprendizaje y la reflexión en torno a la ciencia (McComas, 2013). Para Álvarez (2006), la enseñanza de HOS tiene una doble finalidad: ayuda a la comprensión de contenido científico difícil de aprender, y actúa sobre las representaciones de ciencia de los estudiantes. Chang (2010) por su parte, también plantea que HOS, específicamente los experimentos históricos, pueden servir para estimular a los estudiantes a que se hagan preguntas sobre la naturaleza, incluyendo un elemento adicional de motivación en la clase de ciencias. Para Izquierdo et al., (2007), HOS puede ser utilizada para modelizar y aproximarse a un concepto científico. Según Allchin (2012b), los errores científicos también pueden ser útiles para orientar una enseñanza más efectiva y una comprensión más profunda de los contenidos. HOS también puede ser de utilidad para que los estudiantes tomen conciencia sobre sus obstáculos conceptuales, y a su vez para que los profesores puedan identificarlos y orientar sus acciones hacia la reorganización del pensamiento de los estudiantes (Monk y Osborne, 1997). La HOS también se ha propuesto como un elemento para mejorar la comprensión de NOS en los estudiantes (Abd-El-Khalick y Lederman, 2000; Kim y Irving, 2010; Paraskevopoulou y Koliopoulos, 2010; Allchin 2013) y ya son varias las experiencias que han mostrado al menos que la HOS es un elemento que permite incorporar NOS en la clase de ciencia (Pavez et al., 2016; Cofré et al, en prensa). En la Tabla 1 se resumen los posibles beneficios de incorporar la HOS en la clase de ciencia.

**Tabla 1.** Aportes de la Historia de la Ciencia al profesor de ciencia y a la enseñanza de la ciencia.

Aporte o beneficio de la HOS para la Educación en Ciencias	Matthews 1989	Monk & Osborne 1997	Allchin 2013	MacComas 2013
1. Promueve o facilita la comprensión de NOS	X	X	X	X
2. Contextualiza la ciencia y con ello motiva al estudiante		X	X	X
3. Permite aclarar conceptos centrales o fundacionales de la ciencia a los estudiantes	X	X	X	X
4. Facilita el evidenciar errores conceptuales de los estudiantes	X	X	X	X
5. Celebra el desempeño de los científicos y promueve su admiración por parte de los estudiantes			X	X
6. Promueve el interés por carreras científicas			X	
7. Permite el desarrollo de habilidades científicas	X		X	X
8. Facilita el destacar el aspecto social de la Ciencia	X	X	X	X

9. Facilita el describir el contexto cultural de la Ciencia	X	X
10. Ayuda a mejorar las actitudes hacia la ciencia		X
11. Permite humanizar a los/las científico(as)		X
12. Facilita el revelar tanto la relación como la diferencia entre la ciencia y la tecnología	X	X
13. Proporciona una conexión interdisciplinaria entre la ciencia y otros tópicos escolares, con un énfasis particular en la superación del gap entre las "dos culturas" (humanidades y ciencias naturales)		X
14. Ayuda a relacionar las disciplinas científicas al mostrar sus características en común		X
15. Permite fortalecer la autonomía del pensamiento frente a ideas no científicas	X	X
16. Facilita la comprensión del profesor acerca de las dificultades de aprendizaje de la ciencia	X	X

### ¿Cómo incorporar la HOS en la clase de ciencias?

Como discutimos en la sección anterior, la HOS puede ser entendida como un recurso para enseñar y también como un elemento de “enriquecimiento” curricular. Sin embargo, algo que se ha venido debatiendo es finalmente *cómo enseñar ciencia* y NOS incorporando la HOS. En este sentido, existen varios “modelos” de como incluir la HOS de manera significativa para lograr mejores aprendizajes de contenidos científicos y de aspectos de la naturaleza de la ciencia. Por ejemplo, Monk y Osborne (1997) proponen un modelo de seis fases. Dos fases iniciales en las que se plantea una problemática a los estudiantes y se les pide realizar predicciones y explicaciones. La fase 3 (estudio histórico) es donde se incorpora la HOS, en la que el profesor, además de introducir el episodio histórico, debe proveer información respecto del pensamiento de la época durante este episodio, fenómeno o idea; información del escenario económico, político y social; ideas científicas opuestas al episodio escogido y una breve cronología. Las siguientes dos fases tienen relación con la discusión grupal en torno a los fenómenos en cuestión y con la presentación de los contenidos científicos de acuerdo a los libros de texto modernos. En una fase final se discuten las implicancias de las evidencias puestas sobre la mesa. Este modelo, propone la enseñanza de NOS de una manera implícita. Por otra parte, Paraskevopoulou y Koliopoulos, (2010) señalan que para conseguir que los estudiantes comprendan NOS, son necesarios tanto la incorporación de la HOS, como las referencias **explícitas** del aspecto de NOS que el elemento histórico involucra. Estos autores proponen una variación del modelo de Monk y Osborne (1997), complementándolo con el modelo conocido como “**story-line**”. Su propuesta consiste en que el docente debe proveer textos históricos, pequeñas historias de la ciencia que pretendan destacar algún contenido científico y ayudar a los estudiantes a mejorar su comprensión de cómo es la naturaleza del conocimiento científico y su creación (NOS). Esto último se logra acompañando las historias con preguntas que dirigen la atención de los

estudiantes a las características de NOS destacada en la historia. Otro ejemplo es el de Rudge y Howe (2009) quienes proponen un enfoque distinto en el cual existe una **reflexión explícita** en torno a NOS. En este enfoque se propone que la HOS sea usada para explorar las concepciones previas de los estudiantes, y darles la oportunidad de contrastar sus ideas con las que tuvieron los científicos en el pasado, más que recapitular exactamente lo que pasó en la historia. De esta manera, la HOS podría ayudar a los estudiantes a superar sus concepciones erróneas, así como lo hicieron los científicos en el pasado. También hacen una crítica al modelo de Monk y Osborne (1997), respecto de la fase “visión científica” en la que se plantea de manera formal la versión actual del concepto científico, argumentando que el conocimiento histórico también es un tipo de conocimiento científico, y proponiendo que al enseñar las concepciones modernas debiera hacerse referencia tanto a sus fortalezas como a sus debilidades.

En resumen, lo que la investigación en educación científica nos muestra es que la HOS debe incorporarse en la clase de ciencia con un enfoque de cambio conceptual o de indagación, en el cual el contenido histórico sirva al estudiante tanto para enfrentarse a un problema científico, como a sus propias preconcepciones sobre el tema. Teniendo esto en mente, diferentes estrategias (dramatización, debates y argumentación; actividades prácticas de replicación de experimentos clásicos; o estudios de caso y análisis de textos científicos clásicos, actividades POE e indagación guiada, relatos emotivos y viñetas), pueden lograr el objetivo de reflexionar sobre el cómo se hace ciencia o como se ha generado un concepto en ciencia. Por ejemplo, nuestra experiencia en la enseñanza de NOS, tanto en estudiantes de escuela, así como en profesores en formación y en ejercicio, es que un relato emotivo, cargado de detalles sociales y personales que permitan comprender la “humanidad” del quehacer científico, también puede ser una estrategia efectiva para que el estudiante, mediante la empatía, logre darse cuenta de cómo se hace ciencia y como es que se generan o descubren los conocimientos científicos (Cofré et al., en prensa, Santibáñez exp. pers.). Más aún, la narración histórica es vista por Abd-El-Khalick y Lederman (2000), como un medio para poner a prueba conocimientos previamente promovidos sobre NOS, al permitir que los estudiantes contrasten sus nociones ingenuas sobre la ciencia con los hechos que precedieron al conocimiento científico vigente.

### **¿Qué elementos de la HOS pueden servir para enseñar ciencia y cómo se hace ciencia?**

A la fecha son múltiples las intervenciones que se han hecho para promover la comprensión de NOS y de conceptos científicos a través de la HOS. Entre estos elementos históricos se encuentran: los descubrimientos, disputas, errores científicos, experimentos históricos, desarrollo de una teoría, controversias, entre otros (McComas 2013). Por ejemplo, se han propuesto los **errores científicos** como un elemento histórico para promover la comprensión de la NOS. Allchin (2012b) plantea a lo menos cuatro fases necesarias para lograr este objetivo: una primera fase donde se debe recopilar información respecto de perspectivas educativas históricas previas; luego de esto, se debe aclarar la naturaleza y los alcances de la tarea, conceptualizando o caracterizando el error y lo que sea central para el aprendizaje. En tercer lugar, se deben considerar estrategias adecuadas y materiales curriculares que estén disponibles; y finalmente plasmar todo esto a gran escala en la planificación de varias clases. Se debe ser cauteloso de no ver los errores como una entretención o distracción a la clase de ciencia, donde se ridiculice al científico por sus errores, donde se vea al error como algo vergonzoso y patológico, y no como una

característica normal de la ciencia. Además, los errores deben ser errores de los conocimientos científicos, y no del científico (Allchin, 2012b). Los errores científicos también pueden ayudar a derribar las impresiones de un método científico como un único algoritmo o como algo automático y mecánico, en vez de algo guiado por el juicio y la imaginación (Allchin, 2012b). Este autor propone varios ejemplos de errores científicos para ilustrar de manera concreta el carácter tentativo de la ciencia. Entre estos menciona la interpretación errónea del beriberi como una enfermedad bacteriana (en vez de una deficiencia de nutrientes); la interpretación errónea del rol de la luz en la fotosíntesis, o la idea de que el corazón daba el “poder vital” a la sangre y con esto su color rojo brillante.

Otro autor plantea que los *experimentos científicos históricos*, “aquellos que surgen del estudio de la ciencia pasada y no de la ciencia actual” (Chang, 2010, p. 317), pueden servir para: comprender aspectos de la ciencia pasada a los que no se puede acceder con las actuales descripciones para mejorar la comprensión del conocimiento científico en sí mismo y para fomentar una comprensión más profunda y completa de las intenciones del científico. Los experimentos históricos también pueden servir para mejorar nuestras concepciones de NOS en términos de darnos cuenta de que hay más de una forma de resolver un problema científico (Chang, 2010). Dentro de este tipo de experimentos, también sería bueno considerar aquellos experimentos históricos con un resultado desconocido para los estudiantes, pese a que algunos crean que pueden generar confusión, debido a que un experimento no bien conocido o inexplorado, puede llevar al estudiante a tener “una experiencia genuina de indagación y a tomar una clase vívida de NOS a partir de esa experiencia” (Chang, 2010, p. 335). Un elemento análogo a la realización de estos experimentos puede ser simplemente el poner a los estudiantes en la posición del científico, enfrentándolo a algún patrón, descubrimiento o fenómeno de la naturaleza para que el elabore una explicación a través de una investigación (no necesariamente experimental) o a través de la deducción de otras investigaciones.

Otro elemento de HOS que se puede incorporar son los distintos tipos de *controversias, conflictos o disputas* en la construcción de una idea, concepto o teoría (Álvarez, 2006). El uso de las *disputas científicas* por ejemplo, parece ser un aporte en la construcción de una visión informada de NOS. Utilizando la disputa entre Millikan y Ehrenhaft ocurrida en 1910, respecto de la existencia de una carga eléctrica elemental, Paraskevopoulou y Koliopoulos (2010), concluyeron que esta estrategia de enseñanza sirvió para mejorar la comprensión de NOS en un grupo de 24 estudiantes de segundo grado de secundaria entre 16 y 17 años. Lo mismo hemos encontrado nosotros al utilizar la controversia en cuanto a la descripción del SIDA y el descubrimiento del VIH por parte de Francisca Barre, Luc Montanier y Robert Gallo (Pavez et al., 2016). Utilizando este episodio, nosotros hemos trabajado, por ejemplo, la diferencia entre observación e inferencia (¿En qué etapa de esta investigación se puede decir que uno observa que el virus es el causante de la enfermedad?) y el efecto de los aspectos socio-culturales en la generación de conocimiento científico (al comienzo no se investigó esta enfermedad ya que afectaba solo a una población reducida y discriminada dentro de la sociedad).

Finalmente, el elemento histórico de estudiar *el desarrollo de una teoría* puede generar múltiples oportunidades de aprendizaje tanto de NOS, como de conceptos científicos. Según Álvarez (2006), este elemento permite que el estudiante se dé cuenta que las teorías son un producto de un proceso histórico, y que no se han construido por simple acumulación del conocimiento, sino que surgen de reorganizaciones, cuestionamientos, críticas y reelaboración de los conocimientos. En nuestro caso, hemos desarrollado material para

trabajar diferentes teorías en biología (teoría celular, cromosómica de la herencia, de la evolución y de la biodiversidad), las cuales hemos aplicado con resultados muy positivos en términos de aprendizaje de NOS (e.g. Pavez et al., 2016; Cofré et al., en prensa). Por ejemplo, algunos autores han mostrado que la teoría cromosómica de la herencia se puede abordar para que estudiantes de secundaria comprendan la diferencia entre teoría y ley, la tentatividad del conocimiento científico, así como la relación entre experimentos y observaciones (Kim y Irving, 2010). Por medio de reflexiones y discusiones grupales, guiadas por preguntas que explícitamente dirijan la atención a los aspectos de NOS mencionados, se consiguió que el curso experimental mostrara una visión de NOS más informada que el curso control al final de las clases.

### **Un ejemplo concreto de incorporación de NOS a la enseñanza de la Biología y NOS**

En este apartado queremos representar lo discutido hasta ahora en un ejemplo concreto de enseñanza de la biología desarrollado por nuestro grupo de estudio. Luego de un trabajo de casi cinco años, hemos generado diferentes materiales tanto para enseñar NOS como para revisar ciertos conceptos y contenidos biológicos, algunos de los cuales ya se han publicado con anterioridad (Pavez et al., 2016; Cofré et al., en prensa). Estos recursos incluyen: el aspecto evolutivo de la anemia falciforme, el descubrimiento del VIH y el aporte de Thomas Morgan a los orígenes de la genética (Pavez et al., 2016), el desarrollo de la teoría celular y el aporte de Theodosius Dobzhansky a la generación de la síntesis moderna de la evolución (Cofré et al., en prensa y Cofré et al., 2017 en este número).

En este caso particular, queremos describir un material cuyo objetivo principal es problematizar la noción que los fundamentos de la herencia y la genética fueron generados solo por un hombre: Gregor Mendel, atendiendo tanto los conceptos biológicos, como NOS, a través de una secuencia de cambio conceptual (Kampourakis 2013; El-Hani 2015). En base a diferentes recursos históricos de fuente primaria (e.g. Fisher 1936; Sturtevant 1965) como secundaria (Jiménez-Aleixandre y Fernández 1987; Kampourakis 2013; El-Hani 2015), hemos creado un material sobre el *desarrollo de la teoría* de la herencia, discutiendo la manera en que Mendel es presentado en los textos escolares. Usualmente se habla de Mendel como el “Padre de la Genética” quien realizó su trabajo experimental enclaustrado en un monasterio por varios años. Este tipo de descripciones transmite una visión de ciencia individualista, en donde las ideas de los científicos no se ven influenciadas por el trabajo de otros, lo que se aleja de una ciencia que se construye en comunidad, donde el científico y sus ideas son sometidos a revisión y a la crítica, en donde el trabajo de unos puede influenciar y ser influenciado por las ideas de otros (Jiménez-Aleixandre y Fernández 1987; Kampourakis 2013; El-Hani 2015). A nivel universitario, hemos encontrado que el trabajo con los diferentes aportes de científicos de la época del redescubrimiento del trabajo de Mendel, permite retratar la ciencia como un proceso social, en el cual los mismos datos empíricos pueden ser interpretados de diferentes maneras y donde los científicos trabajan siempre con una base teórica, la cual quieren poner a prueba. En la Tabla 2 se muestran algunos de los elementos incorporados en la clase, desde los aportes de diferentes científicos a la generación de la teoría cromosómica de la herencia, los conceptos de NOS y de genética trabajados en dicha clase, hasta las estrategias y recursos utilizados. En general, los estudiantes se presentan con la idea de Mendel como el único creador de la herencia o la genética clásica y a pesar de declarar su poco entusiasmo por los ejercicios de cruzamiento, si tienen en alta estima al investigador. Cuando la clase va transcurriendo y van conociendo el aporte e historia de los

otros investigadores, se evidencia un conflicto entre los hechos y sus creencias, y la mayoría de las veces en que se les presentan controversias sobre el trabajo de Mendel, la mayoría toma partido por el padre de la genética. Sin embargo, poco a poco les va haciendo sentido la incorporación de otros nombres y van comprendiendo cómo funciona la generación del conocimiento. El punto culmine en la clase ocurre cuando se presenta a Thomas Morgan, no como “el genetista que describe un excepción a las leyes de Mendel”, sino como el investigador que fue capaz de demostrar la ubicación material de los factores de Mendel en un lugar específico de las células: los cromosomas.

**Tabla 2.** Ejemplo de uso de HOS (Historia del nacimiento de la teoría cromosómica de la herencia) para enseñar algunos aspectos de NOS y genética.

---

#### **Aprendizaje Esperado 04**

Describir investigaciones científicas clásicas y contemporáneas en genética reconociendo el papel de la teoría en ellas (ej. Gregorio Mendel).

---

#### **Recursos: Información obtenida de fuentes primarias y secundarias, sobre los aportes de diferentes científicos a la generación del conocimiento genético.**

- Hugo de Vries, publicó tres artículos en los cuales citó el trabajo de G. Mendel. En estos artículos de Vries corroboró la proporción 3:1 para otras 12 especies de plantas, dándole mayor generalidad a las leyes de Mendel. De Vries además acuñó el concepto de Mutación.

- Williams Bateson fue el creador de conceptos como: Genética, Hetero y Homocigoto, Alelo, F1 y F2 (Generación filial 1 y 2). Además, corroboró la proporción 3:1 en *Pisum sativa*, con una muestra casi el doble más grande de la usada por G. Mendel (8000 vs. casi 16.000). Además, Bateson realizó el cruzamiento recíproco investigando el color de plumas en pollo, revelando resultados diferentes a los esperados por las leyes de Mendel, al igual que lo hizo Thomas Morgan con el color de ojos en *Drosophila*.

- Thomas Morgan, quien en principio no creía ni en la selección natural, ni en la genética mendeliana, o en la hipótesis de Sutton y Boveri (los cromosomas son los portadores de los factores hereditarios), fue quien finalmente demostró la **ubicación material** de los genes en los cromosomas (estructuras reales de la célula) gracias a sus estudios en *Drosophila*. Finalmente, es Morgan quien sintetiza la teoría cromosómica de la herencia en su libro: “*The mechanism of Mendelian heredity*”, junto a otros genetistas de su laboratorio.

---

#### **Aspectos de NOS trabajados (currículum)**

1) La ciencia generalmente se hace en comunidad y no por científicos solitarios; 2) El conocimiento científico se genera en base a datos empíricos y a las ideas de los científicos; 3) Las ideas de los científicos están influenciadas por sus experiencias y creencias, por lo tanto la ciencia siempre tiene elementos de subjetividad.

---

#### **Conceptos Biológicos trabajados (currículum)**

Se da énfasis al mayor aporte de Mendel, cual es: demostrar que **la herencia NO es por mezcla**, sino por combinación de factores discretos. Además, se trabajan los conceptos de **cromosoma, las leyes de Mendel y la herencia ligada al sexo** como confirmación de la relación material entre factores (rasgos) y **locus del gen**.

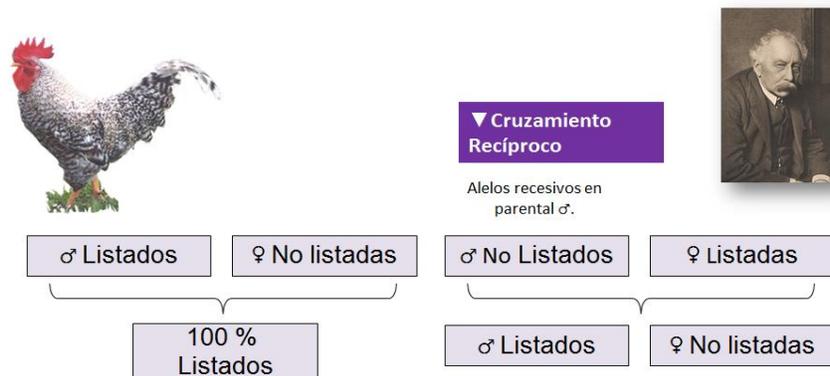
---

#### **Enfoque y estrategia utilizada (enseñanza – evaluación)**

Mediante un enfoque de cambio conceptual, se utiliza el modelo de Ruge y Howe (2009) como estrategia de enseñanza. Al comienzo se exploran concepciones previas de los estudiantes sobre: la herencia (¿mezcla?) y el desarrollo de la genética (¿Mendel el único investigador?), y sobre el concepto de ley y teoría (¿Ley>Teoría?). Luego se utilizan recursos históricos de primera fuente como tablas de resultados de Mendel,

---

textos de trabajos originales o análisis de ellos y se pone a los estudiantes “en el papel de investigador”. Por ejemplo: Se le presenta a los estudiantes el siguiente resultado de un experimento clásico y se le pregunta:



¿Qué explicación puedes dar cuando Bateson y Morgan realizaron la cruce de prueba en pollos y moscas y, esperando encontrar 100% de fenotipo dominante (heterocigoto), encuentran una progenie de 50% y 50% de los rasgos?

*(los estudiantes llegan solos a la noción de genes ligados pasando por otras posibles hipótesis, trabajándose así su capacidad de explicar resultados y proponer hipótesis)*

Luego de mostrar los resultados y conclusiones de ambos científicos se pregunta:

¿Si ambos investigadores realizaron el mismo experimento, por qué Bateson y Morgan proponen explicaciones diferentes? (Bateson propone que las leyes de Mendel están erradas y Morgan propone que existen excepciones de caracteres ligados al sexo).

*(los estudiantes discuten explícitamente sobre inferencias, observaciones, sobre la subjetividad de las interpretaciones de los científicos y cómo cambia y se modifica el conocimiento científico).*

## ¿Cómo se incorpora la HOS en nuestro currículum y en la formación de profesores?

El escenario curricular de nuestro país es muy cambiante, incluyendo en menos de 10 años un Marco Curricular, 2 Bases Curriculares, y varios Programas de estudios recientes y de una vida útil extremadamente corta (Mineduc 2009, 2013, 2016, 2017; véase también el análisis de Cofré 2012). Sin embargo, desde el año 2009, existe una incorporación constante, aunque no tan sistemática, de aspectos de NOS y muy relacionado a ello, de elementos históricos de la Biología. Tanto la Tabla 3 (primero medio), como la Tabla 4 (cuarto medio), nos muestran que los elementos históricos incorporados en nuestro currículum, toman variadas formas desde: habilidades de pensamiento científico, pasando por aprendizajes esperados e indicadores de evaluación, hasta conformar propuestas de actividades didácticas.

Sin embargo, en la Tabla 3 se puede constatar que la totalidad de los elementos históricos incorporados corresponden sólo a la Unidad 1: Evolución y biodiversidad. Las otras tres unidades (Organismos en ecosistemas; Materia y energía en ecosistema e impactos en ecosistema y sustentabilidad) no incluyen elementos de la historia de la biología. En el nivel de cuarto medio, ocurre algo similar, donde los elementos históricos están concentrados en la primera unidad (Expresión y manipulación del material genético), aunque también existen en otras unidades (e.g. Unidad 3: Sistema inmune: enfermedades y tratamientos) que incorporan aspectos históricos. Tabla 3. Programa de Estudio Biología 1º Medio 2017 (a partir de Bases Curriculares 2013).

**Tabla 3.** Programa de Estudio Biología 1º Medio 2017 (a partir de Bases Curriculares 2014)

<b>Referencia histórica</b>	<b>Descripción</b>	<b>Pág.</b>
“Demostrar valoración e interés por los aportes de hombres y mujeres al conocimiento científico y reconocer que desde siempre los seres humanos han intentado comprender el mundo”.	Actitudes científicas : Objetivo de aprendizaje H, dimensión sociocultural y ciudadana	48
“Analizar e interpretar datos para proveer de evidencias que apoyen que la diversidad de organismos es el resultado de la evolución, considerando: - Los aportes de científicos como Darwin y Wallace a las teorías evolutivas”.	Eje temático: Objetivo de aprendizaje 2	64
- “Identifican grandes preguntas planteadas por mujeres y hombres a lo largo de la historia en relación con el mundo y el Universo”. - “Describen los aportes de científicos (de mujeres y hombres), en diversas épocas, sobre un determinado conocimiento científico”. - “Argumentan la importancia de los aportes realizados por científicos y científicas en la evolución del conocimiento y la comprensión del mundo”.	Indicadores de evaluación de actitudes científicas: Objetivo de aprendizaje H, dimensión sociocultural y ciudadana	86
- “Teorías evolutivas” - “Darwin, Wallace y sus aportes a la teoría evolutiva”.	Descripción unidad 1: Evolución y Biodiversidad	89
- “Debaten en torno a las implicancias de evidencias y aportes neodarwinistas más relevantes a la teoría evolutiva por selección natural”. - “Analizan la relación entre las investigaciones de Darwin y Wallace y sus contribuciones a la teoría de la evolución por selección natural”. - “Argumentan la importancia de las evidencias en la validación científica de nuevas teorías, como en el caso de teorías evolutivas”. - “Debaten en torno al impacto científico, ético y cultural en la sociedad de la teoría de la selección natural planteada por Darwin y Wallace”.	Indicadores de evaluación eje temático : Objetivo de aprendizaje 2	91
Actividad 6: Huellas de los homínidos	Sugerencia de actividad unidad 1: Evolución y Biodiversidad Objetivo de aprendizaje H	106
Actividad 4: Las ideas de Malthus	Sugerencia de actividad unidad 1: Evolución y Biodiversidad	112
Actividad 7: Pinzones II	Objetivo de aprendizaje 2 (eje temático) y Objetivo de aprendizaje H (actitud científica)	114
Actividad 8: Postulados de la teoría de la selección natural		115
Actividad 9: Limitaciones de la teoría		116
Actividad 10: Darwin y Wallace		117
Actividad 11: Perspectivas y debate en torno a la evolución		118

**Tabla 4.** Programa de Estudio de Biología 4° Medio 2016 (actualización del marco curricular 2009), vigente hasta el año 2019.

Referencia histórica	Descripción	Pág.
“Analizar controversias científicas contemporáneas, sus resultados e interpretaciones, según conocimientos del nivel”.	Habilidad de pensamiento científico	31
“Analizar y argumentar controversias científicas contemporáneas relacionadas con conocimientos del nivel”.	Aprendizajes esperados 01 de las habilidades de pensamiento científico	40
“Investigan bibliográficamente y explican las fuentes de discrepancias de opinión en relación con controversias científicas y tecnológicas históricas y actuales”.	Indicadores de evaluación sugeridos para el aprendizaje esperado de la habilidad de pensamiento científico 01	40
“Analizar la estructura del ADN y los mecanismos de su replicación que permiten su mantención de generación en generación, considerando los aportes relevantes de científicos en su contexto histórico”.	Aprendizaje esperado 01 para la unidad temática: Expresión y manipulación del material genético	42
-“Evalúan las investigaciones científicas relacionadas con el descubrimiento del ADN como material genético, en su contexto histórico”. -“Deducen que el mecanismo de replicación del ADN es semiconservativo, a partir del análisis de experimentos clásicos”.	Indicador de evaluación sugerido para el aprendizaje esperado 01 unidad de temática: Expresión y manipulación del material genético	46
Actividad 2: Revisan investigaciones científicas de Griffith, Avery y de Hershey y Chase.	Actividad sugerida para el aprendizaje esperado temático 01	50
Actividad 4: Investigan acerca de los aportes de científicos, como Watson, Crick, Franklin y Wilkins.	Unidad temática: Expresión y manipulación del material genético	51
Actividad 7: Analizan datos de manera simplificada acerca del experimento de Meselson y Stahl.		52
Actividad 1: Analizan el experimento de Edward Jenner	Actividad sugerida para el aprendizaje esperado temático 08 Unidad temática: Sistema inmune: enfermedades y tratamientos	79

Luego de este análisis podemos concluir que, en gran parte de los contenidos de nuestro currículum, como los revisados en las Tablas 3 y 4, así como en otros incluidos en segundo medio (e.g. Genética y reproducción celular, Hormonas y reproducción humana, Dinámica de poblaciones y comunidades) y tercero medio (Homeostasis y regulación interna; Evolución), existe la incorporación explícita de HOS como objetivo de aprendizaje (asociado a habilidades científicas y al reconocimiento de ciertos aspectos de NOS) y como estrategia para enseñar ciencias (asociado a indicadores de evaluación y actividades propuestas). La mayor parte de las veces, las propuestas son descripciones del tratamiento del contenido, pero que no proponen metodologías o actividades que parezcan estar basadas en evidencia didáctica. Deben ser los profesores quienes resuelvan el problema.

Esto nos lleva a un cuestionamiento natural ¿Cuál es la formación en Historia de la Ciencia, ya sea como contenido y/o como estrategia de enseñanza, que reciben los futuros

profesores de ciencia en Chile? Lamentablemente, la formación de profesores de ciencia en áreas como la filosofía, naturaleza o historia de la ciencia, es muy escasa en Chile (Cofré et al., 2010, Pavez, 2015), lo que se traduce en profesores de ciencia que muchas veces no conocen el contexto de la generación del conocimiento científico, ni tampoco como utilizar este elemento curricular para la enseñanza de la ciencia. No obstante, este panorama también se observa en otras partes del mundo (Álvarez, 2006). Por ejemplo, Chamizo (2007) afirma que los profesores de ciencia no incluyen bien la HOS, porque la desconocen y porque no saben enseñarla. Esto se explica por la escasa o nula formación que reciben los profesores en historia y/o filosofía de la ciencia, y porque la HOS tampoco es considerada en los programas de didáctica de las ciencias. En el mismo sentido, otros autores plantean que una de las razones por las cuales los profesores no usan la HOS en la sala de clases es porque no se ha enseñado a los profesores como usar esta HOS, puesto que no hay académicos interesados en este tema en las facultades (Lin y Chen, 2002). Höttecke y Celestino (2011) han llegado a sistematizar cuatro tipos de obstáculos para que profesores de ciencia incorporen HOS en sus clases: (1) la cultura relativa a cómo “debe” enseñarse la ciencia, (2) las habilidades del profesor, sus actitudes epistemológicas y didácticas, y sus creencias, (3) razones y limitaciones institucionales, y (4) la forma en que la ciencia es presentada en los textos escolares. El que no exista formación en el área, genera inseguridad y reticencia por parte de los profesores a incorporar la HOS en sus clases, a lo que se suma la falta de materiales didácticos (Álvarez, 2006). Específicamente en el caso de Chile, Pavez (2015) hizo un primer diagnóstico el cual confirma el panorama descrito anteriormente por Cofré et al., (2010). De un total de 37 carreras de pedagogía en ciencias en universidades tradicionales revisadas, tan solo 14 de ellas incluyen cursos sobre historia, filosofía o epistemología de las ciencias, de las cuales 13 incluyen solo 1 curso sobre estos tópicos. Esta falta de preparación en la historia de la ciencia para profesores en formación, es muy probable que se repita en el contexto de la formación continua de profesores de ciencia, dada la escasa oferta de perfeccionamiento en el área de la didáctica de las ciencias en el país (Vergara y Cofré 2014).

La investigación empírica arroja una serie de condiciones que deben tenerse en cuenta a la hora de desarrollar programas de educación científica en base a HOS: (1) la conformación de redes de colaboración entre profesores motivados por incorporar HOS, (2) desarrollo de un currículo con una estructura más consistente sobre HOS, (3) respaldo institucional, (4) disponibilidad de recursos escritos, (5) mayor y mejor investigación y acceso de los profesores a los resultados (Höttecke y Celestino, 2011).

### **Conclusiones**

De acuerdo a la revisión de la literatura, podemos afirmar que existe consenso sobre la valoración de la HOS como un elemento importante en la enseñanza de la ciencia, ya sea para promover la motivación en los estudiantes, para permitirles identificar sus propias obstáculos conceptuales, para promover en ellos un pensamiento crítico o para la enseñanza de aspectos de NOS, entre otras importantes aspiraciones de la alfabetización científica. Por otra parte, los documentos curriculares revisados sugieren la incorporación de la HOS en la enseñanza de la ciencia, con distintos énfasis: objetivos de aprendizaje, asociado a habilidades de pensamiento científico o como parte de las actividades sugeridas. A partir de este análisis local, reconocemos dos problemas a la hora de llevar la HOS a la sala de clases: la escasez de materiales didácticos disponibles en español alineados con el currículum

nacional y acordes a los distintos niveles de enseñanza, y las falencias en la formación inicial y continua de docentes en relación a la HOS y su enseñanza. Debido a esto se hace necesario entonces el conocimiento de las estrategias para incorporar la HOS en la enseñanza de la ciencia por parte de los profesores de ciencia y por los formadores de profesores, algunas de las cuales se revisaron en este trabajo. Creemos que los estudiantes de pedagogía en ciencias debieran estar expuestos a dichas estrategias durante su formación inicial, así como también los profesores de ciencia en ejercicio. Asimismo, se hace necesario impulsar investigación respecto a la forma en que la HOS prescrita por documentos oficiales se está enseñando y los efectos que esto podría estar teniendo en la comprensión de los contenidos científicos y la NOS.

### Agradecimientos

Parte de este trabajo fue realizada con fondos del proyecto FONDECYT 1131029 a HC.

### Bibliografía

- Abd-El-Khalick, F., y Lederman, N. (2000). The Influence of History of Science Courses on Students' Views of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(10), 1057–1095.
- Adúriz-Bravo, A. (2011). Use of the history of science in the design of research-informed NOS materials for teacher education. En Kokkotas, P., Malamitsa, K. & Rizaki, A. *Adapting Historical Knowledge Production to the Classroom*. Sense Publishers.
- Allchin, D. (2012a). The Minnesota case study collection: New historical inquiry case studies for nature of science education. *Science & Education*, 21 (9), 1263–1281.
- Allchin, D. (2012b). Teaching the nature of science through scientific errors. *Science Education*, 96(5), 904–926.
- Allchin, D. 2013. *Teaching the Nature of Science: Perspectives & Resources*. St. Paul, MN: SHiPS Education Press.
- Álvarez, M. (2006). La historia de la ciencia en la formación del profesorado de ciencias naturales. En Quintanilla, M. & Adúriz-Bravo, A. *Enseñar ciencias en el nuevo milenio. Retos y propuestas*. Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Álvarez, M. (2007). ¿Qué historia de la ciencia enseñar? Orientaciones para la formación docente. En Quintanilla, M. *Historia de la Ciencia. Aportes para la formación del profesorado*. Chile: Arrayan editores.
- Chamizo, J. (2007). La historia de la ciencia: un tema pendiente en la educación latinoamericana. En Quintanilla, M. *Historia de la Ciencia. Aportes para la formación del profesorado*. Chile: Arrayan editores.
- Chang, H. (2010). How Historical Experiments Can Improve Scientific Knowledge and Science Education: The Cases of Boiling Water and Electrochemistry. *Science & Education*, 20(3- 4), 317–341.
- Clary, R. y J. Wandersee (2013). Arguing history. *The Science Teacher*, 39–43.
- Clough, M. (2006). Learners' Responses to the Demands of Conceptual Change: Considerations for Effective Nature of Science Instruction. *Science & Education*, 15(5), 463–494.
- Clough, M. (2011). The story behind the science: Bringing science and scientists to life in post-secondary science education. *Science & Education*, 20(7), 701–717
- Cofré, H. (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., Camacho, J., Galaz, A., Jiménez, J., y Santibáñez, D. (2010). La educación científica en Chile: debilidades de la enseñanza y futuros desafíos de la educación de profesores de ciencia. *Estudios Pedagógicos*, XXXVI(2), 279–293.
- Cofré, H., P. Núñez, D. Santibáñez, J. M. Pavez, y C. Vergara (2018). Theory, evidence and examples about teaching the nature of science and biology using the history of science: A Chilean experience. In: *Teaching science with context: Historical, Philosophical, Sociological Approaches*, (Eds. Maria Elice B. Prestes and Cibelle Celestino Silva). Springer.
- El-Hani, C N. (2015) Mendel in Genetics Teaching: Some Contributions from History of Science

- and Articles for Teachers. *Science & Education*, 24,173–204.
- Fisher, R. A. (1936). Has Mendel's work been rediscovered? *Annals of Science*, 1: 115-137.
- Harlen, W. (Ed.). (2010). Principles and big ideas of science education. Association for Science Education.
- Höttecke, D., y C. Celestino (2011) Why Implementing History and Philosophy in School Science Education is a Challenge: An Analysis of Obstacles. *Science & Education*, 20, 293–316.
- Izquierdo, M., Quintanilla, M. Vallverdú, J. y Merino, C. (2007). Una nueva reflexión sobre la historia y filosofía de las ciencias y la enseñanza de las ciencias. En Quintanilla, M. Historia de la Ciencia. Aportes para la formación del profesorado. Chile: Arayán editores.
- Jiménez Aleixandre, M., y Fernández Pérez, J. (1987). El "desconocido" artículo del Mendel y su empleo en el aula. *Enseñanza de las Ciencias*, 5(3), 239-246.
- Kampourakis, K. (2013). Mendel and the path to genetics: Portraying science as a social process. *Science & Education*, 22(2), 293–324.
- Kim, S. Y., y Irving, K. (2010). History of science as an instructional context: student learning in genetics and nature of science. *Science & Education*, 19(2), 187–215.
- Lederman, N. G., y Lederman, J. (2014). Research on teaching and learning of nature of science. In N. Lederman & S. Abell (Eds.), *Handbook of research on science education* (Vol. II, pp. 600–620). New York, NY: Routledge.
- Lin, H., y Chen, C. (2002). Promoting preservice chemistry teachers' understanding about the nature of science through history. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(9), 773–792.
- Matthews, M. (1989). A role for history and philosophy in science teaching. *Interchange*, 20, (2), 3–15.
- McComas, W. (2013). Uma proposta de classificação para os tipos de aplicação da história da ciência na formação científica: implicações para a pesquisa e desenvolvimento. In: C. C. Silva & M. E. Brzezinski (Eds.). *Aprendendo ciência e sobre sua natureza: abordagens históricas e filosóficas* (pp.419-441). Tipographia, Editora Express.
- McComas, W., y Kampourakis, K. (2015). Using the history of biology, chemistry, geology, and physics to illustrate general aspects of nature of science. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 9(1), 47–76.
- Mineduc (2009). Ajuste Marco Curricular. Ministerio de Educación, Gobierno de Chile
- Mineduc (2013). Bases curriculares 7° básico a 2° medio ciencias naturales. Ministerio de Educación, Gobierno de Chile
- Mineduc (2016). Biología programa de estudio cuarto año medio. Ministerio de Educación, Gobierno de Chile
- Mineduc (2017). Biología programa de estudio primer año medio. Ministerio de Educación, Gobierno de Chile.
- Monk, M., y Osborne, J. (1997). Placing the History and Philosophy of Science on the Curriculum: A Model for the Development of Pedagogy. *Science Education*, 81(4), 405–424.
- Osborne, J., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R., y Duschl, R. (2003). What "ideas about science" should be taught in school science? A Delphi study of the expert community. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(7), 692–720.
- Paraskevopoulou, E., y Koliopoulos, D. (2010). Teaching the Nature of Science Through the Millikan-Ehrenhaft Dispute. *Science & Education*, 20(10), 943–960.
- Pavez, J., Vergara, C. A., Santibáñez, D., y Cofré, H. (2016). Using a professional development program for enhancing Chilean biology teachers' understanding of nature of science (NOS) and their perceptions about using history of science to teach NOS. *Science & Education*, 25, 383–405.
- Rudge, D. W., y Howe, E. (2009). An explicit and reflective approach to the use of history to Promote understanding of the nature of science. *Science & Education*, 18, (5), 561–580.
- Sturtevant, A. H. (1965). *A history of genetics*. New York, NY: Harper and Row.
- Vergara, C., y Cofré, H. (2014). Conocimiento Pedagógico del Contenido: ¿el paradigma perdido en la formación inicial y continua de profesores en Chile. *Estudios Pedagógicos*, XL, 323- 338.
- Wang, H.A. y Marsh, D. (2002). Science instruction with a humanistic twist: Teachers' perception and practice in using the history of science in their classrooms. *Science & Education* 11: 169–189