50 AÑOS 1970-2020
EDICIONES UNIVERSITARIAS DE VALPARAÍSO
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO

VICERRECTORÍA ACADÉMICA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO

**HERNÁN COFRÉ, CLAUDIA VERGARA & ÁNGEL SPOTORNO** (EDITORES)

# ENSEÑAR EVOLUCIÓN Y GENÉTICA PARA LA ALFABETIZACIÓN CIENTÍFICA

**COLECCIÓN EDUCACIÓN** | SERIE DIDÁCTICA

**COLECCIÓN EDUCACIÓN** | SERIE DIDÁCTICA

Hernán Cofré, Claudia Vergara & Ángel Spotorno (editores). Enseñar Evolución y Genética para la Alfabetización Científica.
Valparaíso: Ediciones Universitarias de Valparaíso, 2021.
404 p.; 17 x 24 cm. ISBN: 978-956-17-0916-4
1. Educación

serie arbitrada

Este libro ha sido seleccionado en el concurso de Publicaciones Académicas de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso Vicerrectoría académica
**SERIE ARBITRADA**

© Hernán Cofré, Claudia Vergara & Ángel Spotorno, 2021
**Enseñar Evolución y Genética para la Alfabetización Científica**

Registro de Propiedad Intelectual Nº 2021-A-2109
ISBN: 978-956-17-0916-4
Derechos Reservados

© Ediciones Universitarias de Valparaíso
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Calle Doce de Febrero 21, Valparaíso
euvsa@pucv.cl
www.euv.cl
facebook.com/euv.cl
twitter.com/euv_cl
instagram.com/euv.cl

Diseño de colección: Paulina Segura P.
Corrección de pruebas: Aldo Espina A.

Tirada: 150 ejemplares

Impreso en Salesianos S.A., Santiago.
HECHO EN CHILE

# CONTENIDOS

**09** PRÓLOGO

**13** PREFACIO

**15** AGRADECIMIENTOS

**PARTE I. ASPECTOS GENERALES DE LA ENSEÑANZA DE LA BIOLOGÍA**

**23** CAPÍTULO 1: ENSEÑANZA DE BIOLOGÍA Y CONOCIMIENTO PEDAGÓGICO DEL CONTENIDO: UNA INTRODUCCIÓN
**Claudia Vergara, Hernán Cofré y David Santibáñez**

**41** CAPÍTULO 2: LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS DE LOS ESTUDIANTES Y SU RELACIÓN CON LAS BASES NEUROBIOLÓGICAS DEL APRENDIZAJE
**Martina Valencia y Dirk Krüger**

**63** CAPÍTULO 3: ¿CÓMO INCORPORAR LAS GRANDES IDEAS DE LA CIENCIA A LA PRÁCTICA DOCENTE?: REFLEXIONES DESDE EL AULA
**Corina González-Weil y Paulina Bravo**

**85** CAPÍTULO 4: LA BIOLOGÍA Y LA NATURALEZA DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO
**Norman Lederman**

105 CAPÍTULO 5: ARGUMENTACIÓN CIENTÍFICA Y ENSEÑANZA DE LA BIOLOGÍA
**Antonia Larrain**

125 CAPÍTULO 6: ENSEÑANDO BIOLOGÍA A TRAVÉS DE LA INDAGACIÓN
**Judith Lederman**

**PARTE II. DESARROLLANDO EL CPC PARA GENÉTICA**

149 CAPÍTULO 7: LAS GRANDES IDEAS DE LA GENÉTICA Y SU IMPORTANCIA EN LA VIDA DIARIA
**Ángel Spotorno**

165 CAPÍTULO 8: LA GENÉTICA EN EL CURRÍCULUM NACIONAL E INTERNACIONAL
**Hernán Cofré, Valentina Donoso y Constanza Pizarro**

181 CAPÍTULO 9: PRECONCEPCIONES Y OBSTÁCULOS PARA EL APRENDIZAJE DE LA GENÉTICA
**Dirk Krüger y David Santibáñez**

205 CAPÍTULO 10: MODELANDO EN GENÉTICA: ESTRATEGIAS PARA DESARROLLAR ALFABETIZACIÓN GENÉTICA
**Renee Schwartz, Hernán Cofré y David Santibáñez**

231 CAPÍTULO 11: EVALUACIÓN PARA EL APRENDIZAJE DE LA GENÉTICA
**Dirk Krüger y David Santibáñez**

**PARTE III. DESARROLLANDO EL PCK PARA EVOLUCIÓN**

253 CAPÍTULO 12: LAS GRANDES IDEAS DE LA GENÉTICA Y SU IMPORTANCIA EN LA VIDA DIARIA
**Ángel Spotorno**

279 CAPÍTULO 13: EVOLUCIÓN EN EL CURRÍCULUM NACIONAL E INTERNACIONAL
**Beatriz Becerra y Hernán Cofré**

293 CAPÍTULO 14: PRECONCEPCIONES Y OBSTÁCULOS PARA APRENDER LA EVOLUCIÓN
**Hernán Cofré, Francisca Carmona y Paola Núñez**

309 CAPÍTULO 15: ESTRATEGIAS DE ENSEÑANZA PARA LA EVOLUCIÓN
**Hernán Cofré, Paola Núñez, Angel Spotorno, Arlette Bassaber**

327 CAPÍTULO 16: EVALUACIÓN PARA EL APRENDIZAJE DE LA EVOLUCIÓN
**Paola Núñez y Hernán Cofré**

**PARTE IV. CONCLUSIONES**

349 CAPÍTULO 17: EL RETO DE LA FORMACIÓN DE PROFESORES DE BIOLOGÍA
**Claudia Vergara, Hernán Cofré y Dirk Krüger**

371 CAPÍTULO 18: EL DESARROLLO DEL CONOCIMIENTO PEDAGÓGICO DEL CONTENIDO DE PROFESORES DE BIOLOGÍA EN EJERCICIO
**David Santibáñez, Claudia Vergara y Hernán Cofré**

# PRÓLOGO

Me complace tener la oportunidad de escribir el prólogo de este importante y nuevo libro diseñado para profesores de habla hispana, editado por Hernán Cofré Mardones, Claudia Vergara Díaz y Ángel Spotorno. *La Enseñanza de la Genética y la Evolución para la Alfabetización Científica* es una obra pensada como un recurso integrado para ayudar a los profesores a comprender y mejorar las perspectivas y prácticas de enseñanza relacionadas con dos temas claves en biología. Está basado en el entendido de que, para ser efectivos, los profesores deben tener suficientes conocimientos previos en dos áreas: didáctica básica en las ciencias de la vida y conocimiento relacionado con el contenido de ciencias del tema que se comunica a los estudiantes. Este libro, por lo tanto, se estructura de manera efectiva con cuatro secciones. La primera se orienta a la comprensión pedagógica en biología, las dos secciones intermedias comparten temas y consideraciones de enseñanza vinculadas a las áreas de contenido de genética y evolución. El libro concluye con dos capítulos que recordarán a los lectores los desafíos de la formación del profesorado de biología, incluido el desarrollo del conocimiento pedagógico del contenido de los docentes en servicio.

La primera sección, centrada en las mejores prácticas de enseñanza de la educación en biología, incluye, entre otras cosas, la consideración del uso de las concepciones alternativas, la indagación y la argumentación en la enseñanza. Las dos secciones siguientes se dirigen a un área de enseñanza particularmente importante, pero algo difícil: los conceptos entrelazados de genética y evolución. En conjunto, estas secciones bien diseñadas sobre estrategias para enseñar biología junto con un bien pensado foco en evolución y genética se-

rán informativas y efectivas para ayudar a los educadores a lograr el objetivo de mejorar la alfabetización científica de los estudiantes en estas sustanciales áreas vinculadas entre sí, con un énfasis particular en la evolución.

En mi papel de editor de la revista *American Biology Teacher* y de profesor de biología de secundaria durante mucho tiempo, he llegado a comprender que la evolución es, para los estudiantes, uno de los conceptos más difíciles de la biología. La evolución, o cambio orgánico a través del tiempo, es la piedra angular de las ciencias biológicas, pero también es un proceso que, en una primera aproximación, parece algo misterioso. La evidencia de la evolución se oculta a la vista de los estudiantes. Una comprensión completa de la evolución implica experimentos, apreciación del tiempo geológico, inferencia, innumerables líneas de evidencia de una variedad de ciencias, junto a mucho pensamiento inductivo y deductivo. Aunque el apoyo a la evolución es vasto, los hechos deben ser cuidadosamente reunidos y compartidos con los estudiantes de forma explícita si quieren ver la base científica para la conclusión de que las especies han cambiado a través del tiempo, lo que ha dado como resultado el mundo vivo increíblemente diverso e interrelacionado que nos rodea.

El biólogo Theodosius Dobzhansky escribió: "Nada en biología tiene sentido excepto a la luz de la evolución", en un ensayo de 1973 publicado en la *American Biology Teacher*. ¡Una declaración que se ha hecho tan famosa que tiene su propia entrada en Wikipedia! Pero ¿qué significa realmente esta frase y por qué es importante? El ser humano comenzó a considerar esta propuesta antes de tener un mecanismo que explicara cómo funciona la evolución y antes de que muchos, incluso, aceptaran la realidad de la evolución. Y sí, sugiero deliberadamente que estos son dos temas diferentes: la noción de evolución en sí misma y la teoría de la evolución propuesta por Charles Darwin y Alfred Russel Wallace a mediados del siglo XIX.

La propuesta de que los seres vivos han cambiado a través del tiempo –la evolución– ha estado con nosotros desde la época de los antiguos griegos, cuando a veces se la llamaba La Gran Cadena del Ser. Sin embargo, muchos consideraron esta noción como poco más que una idea interesante hasta que Darwin y Wallace, trabajando independientemente, propusieron lo que se conoce como la Teoría de la Evolución por Selección Natural para explicar el proceso por el cual opera la evolución. Incluso sin esa explicación, el proceso natural de cambio a través del tiempo seguiría siendo válido, pero para muchos fue la propuesta de un mecanismo lo que permitió la aceptación generalizada



del principio general de la evolución. Es esta aceptación generalizada lo que Dobzhansky reconoce en su cita.

El interés en el estudio del mundo viviente existía mucho antes de que los científicos adoptaran la noción de evolución y su mecanismo, pero las opiniones de los científicos y miembros del público educado sobre la vida cambiaron radicalmente una vez que la evolución se consideró "real". Antes de que se aceptara la evolución, no había una explicación firme de por qué algunas criaturas se parecían entre sí, y generalmente se admitía que cada forma de vida se producía individualmente. Darwin, en las islas Galápagos, preguntó por qué los reptiles en estas islas lejanas y distantes se parecían mucho a los de la costa de América del Sur en lugar de haber sido producidos especialmente para la vida en estas rocas volcánicas escarpadas. Su respuesta fue que las tortugas, iguanas y lagartijas tienen que haber venido del continente y haber cambiado de generación en generación a lo largo del tiempo después de su llegada. Con la "luz de la evolución", las relaciones entre estas especies y sus antepasados tuvieron sentido. Darwin salió de Galápagos entendiendo que la evolución había ocurrido, pero el mecanismo que propondría luego para explicarla esperaría varias décadas, durante las cuales examinó la evidencia, consideró los casos de grupos individuales de organismos como los percebes y entabló conversaciones enérgicas con los naturalistas. Todo acompañado de lectura voraz y pensamiento profundo.

Le damos crédito a Darwin por desarrollar y popularizar el mecanismo explicativo (es decir, la selección natural) de la evolución en *El origen de las especies*. Sin embargo, Darwin sabía que no tenía todos los elementos de su teoría completamente desarrollados. Por ejemplo, no sabía cómo funcionaba la herencia, y sabía muy poco sobre la fuente de la "variación dentro de las especies", que proporcionaba la materia prima sobre la cual la "selección natural" construía nuevas especies. Darwin y sus colegas se adelantaron a su tiempo a este respecto.

Aunque la herencia fue un tema de mucho interés para los científicos victorianos, no fue sino hasta los primeros años del siglo XX que surgió la genética. Incluso ahí, la comprensión de la herencia aún no estaba completa, pero décadas después, la bioquímica del ADN llenó un vacío final importante. Uno solo puede imaginar cómo habría reaccionado Darwin si hubiese sabido que una molécula relativamente simple, compuesta de una cadena de Adeninas, Timinas, Citosinas y Guaninas, era la solución a muchas de sus preguntas sobre el mecanismo de la herencia.

Los editores de este libro se han dado cuenta sabiamente de que, para que los estudiantes entiendan la evolución, también deben tener un conocimiento complementario de la genética. Por lo tanto, junto con el objetivo de mejorar el conocimiento pedagógico del contenido de los profesores sobre la evolución, es vital que los educadores también aprecien el conocimiento del contenido de la genética, las ideas previas de los estudiantes sobre ella y la evaluación del aprendizaje en esta área. Este contenido relacionado con la genética está bien representado por una serie de capítulos paralelos a los dedicados a la evolución misma.

Creo que los maestros encontrarán la información contenida en este libro fascinante y útil para lograr los objetivos asociados con la preparación de la enseñanza de la biología, junto a los conocimientos necesarios sobre el contenido de la genética y la evolución, y cuestiones pedagógicas relacionadas, como la importancia del uso de las idas previas en la enseñanza. Si Dobzhansky nos dice que nada tiene sentido en biología sin evolución, yo añadiría que nada relacionado con el mecanismo de la evolución tiene sentido sin la genética. La educación en biología se basa en experimentar y comprender los pilares gemelos de la evolución y la genética, y este libro *Enseñar Genetica y Evolucion para la Alfabetización Científica* demostrará ser una valiosa guía para los maestros y sus estudiantes en la búsqueda de esta comprensión.

**William F. McComas**
Parks Family Distinguished Professor of Science Education
University of Arkansas, Fayetteville USA

Prohibida su reproducción
Ediciones Universitarias de Valparaíso
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso



# PREFACIO

prohibida su reproducción
Ediciones Universitarias de Valparaíso
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

## Antecedentes

Actualmente nos parece imprescindible que la Ciencia –y la biología en particular– pueda ayudar a los estudiantes a convertirse en ciudadanos ilustrados que adopten decisiones cruciales para su vida y para la sobrevivencia de la especie basándose en la evidencia que día a día se genera a través del trabajo científico. En tiempos en que los científicos nos alertan con certeza que el calentamiento global y el cambio climático amenazan nuestra continuidad como especie (Ripple et al., 2020) y que nuevas enfermedades hacen que nuestro supuesto bienestar económico y social se vea cuestionado como nunca antes en nuestra historia reciente, creemos que la alfabetización científica es la única forma en que podemos hacer frente a las falsas noticias que navegan en el espacio virtual y a las políticas de gobiernos que no toman en cuenta los datos y las ideas generadas por la Ciencia.

Si bien este camino entre la Ciencia y la sociedad lo pueden transitar científicos con genuina preocupación por la población o divulgadores que han hecho de su carrera investigativa una vía de conexión entre la academia y la gente, creemos que los principales responsables de alfabetizar a las personas somos los educadores.

Los profesores de Ciencia y de biología son, en efecto, los llamados a generar oportunidades de aprendizaje para que sus estudiantes logren descubrir y comprender la belleza de la evolución y la herencia. Son los profesores de biología los llamados a formar estudiantes que puedan usar dichos conoci-

mientos para articular argumentos en contra del racismo, que vemos hoy más vigente que antes, o para explicar por qué muchas de nuestras enfermedades son producto de un ambiente posmoderno para el cual nuestro cuerpo paleolítico no está adaptado (Spotorno, 2019). Por último, son los profesores de biología los llamados a alentar a los estudiantes a tomar acciones concretas destinadas a aportar en la resolución de problemas socio científicos (extinción de especies, uso de pesticidas y otros compuestos químicos en la producción de alimentos, etc.), locales y nacionales, que podrían tener relación con los diferentes contenidos biológicos revisados en la educación en ciencias que les ofrecemos y les imponemos.

Pero sabemos que no es posible el logro de ciudadanos científicamente alfabetizados en aulas donde se realiza una enseñanza tradicional, centrada en los contenidos y en el profesor como su trasmisor erudito. Por lo tanto, sabemos asimismo que los nuevos cambios curriculares, por ejemplo, la creación de la nueva asignatura de Ciencias para la Ciudadanía, pueden convertirse en una gran oportunidad para conseguir ese logro, siempre y cuando los profesores tengan el tiempo suficiente y las herramientas necesarias para aprovecharla. En este contexto, creemos que la presente obra puede ser un aporte para los maestros que hoy se ven enfrentados a estas tensiones en la enseñanza de la biología a nivel secundario. Este libro, que ha sido el fruto de casi una década de trabajo e investigación de un número importante de académicos, profesores de escuela y estudiantes de pedagogía en biología, está pensado, especialmente, por y para los profesores de biología que se enfrentan al desafío de la alfabetización en genética y evolución. Como dijo Roger Bybee (1982) hace casi 40 años: "*En la educación científica ya no podemos disfrutar del esplendor del pasado... de enfoques tradicionales y los programas del ayer. Resistir la necesidad de cambiar nuestra enseñanza significa que el futuro se presentará como un laberinto de problemas sin poder resolver*" (p. 345).

## Descripción y finalidad de este libro

Orientado entonces hacia una enseñanza de la biología para una nueva ciudadanía, el objetivo de este libro es ofrecer, tanto a profesores en formación como en servicio, una serie de conocimientos teóricos y prácticos que pueden ser útiles para lograr la alfabetización genética y evolutiva en los estudiantes. Tomando como marco teórico el conocimiento pedagógico del contenido (CPC), es decir, aquel conocimiento sobre la enseñanza de la asignatura del profesor (en este caso dos ramas de la biología), sus distintos capítulos transitan a través de la revisión de aspectos centrales en la enseñanza de la biología,



para dar paso a secciones que examinan temas específicos de la enseñanza de la genética y la evolución.

Así, la Parte I incluye seis capítulos que, a nuestro entender, son cruciales en la educación en ciencias y que sirven para apoyar una enseñanza efectiva de la evolución y la genética. En el Capítulo 1 se explica brevemente lo más relevante del concepto del CPC, creado (¡y no descubierto!) por Shulman (1986) hace más de 30 años. La lectura de este capítulo permite comprender la lógica del libro, en particular las parte II y III, enfocadas en el CPC de genética y de evolución, respectivamente, así como los capítulos relacionados con la formación docente de la parte IV. En el Capítulo 2, se revisan las bases neurobiológicas del aprendizaje, junto con dos temas centrales de la educación en ciencias en la actualidad: el estudio de las concepciones previas de los estudiantes y la teoría del cambio conceptual. Leer este capítulo permite al lector comprender más cabalmente los capítulos dedicados a las preconcepciones de genética y evolución. El Capítulo 3 revisa el concepto de las *Grandes Ideas de la Ciencia*, uno de los pilares de nuestro nuevo currículum, y además se describen experiencias de aula acerca de cómo implementarlas. Agreguemos, por otra parte, que este capítulo está en consonancia con los capítulos que se refieren a las grandes ideas de la genética y la evolución. En el Capítulo 4, se trata otro tema fundamental en la educación en ciencias y en nuestro currículum nacional: la naturaleza del conocimiento científico, o también conocido como la Naturaleza de la Ciencia. Este concepto es crucial para la enseñanza y la comprensión de la teoría de la evolución, como se verá en los capítulos dedicados a estos temas en la parte III. El Capítulo 5 examina la argumentación científica como una estrategia de enseñanza que no solo permite una mejor comprensión de contenidos, como la genética y la evolución, sino que desarrolla igualmente habilidades científicas esenciales para lograr la alfabetización científica y una ciudadanía efectiva. Termina esta parte con el Capítulo 6, dedicado a otro componente esencial de la educación en ciencias y de nuestro currículum: la indagación científica como estrategia de enseñanza y como producto de aprendizaje. Dado que esta es una de las estrategias que se ha descrito como más eficaz para la enseñanza de la genética y la evolución, este capítulo es esencial para comprender en mejor forma aquellos capítulos de las partes II y III, que están centrados en estos temas.

La parte II y la parte III siguen la lógica de revisar el conocimiento que el profesor necesita para enseñar en buena forma el contenido de genética y de evolución, respectivamente. De acuerdo con el modelo de CPC revisado en el Capítulo 1, aquí podemos reconocer capítulos que examinan: el contenido, el

currículum, las concepciones previas, las estrategias de enseñanza y la evaluación de ambos contenidos. La parte II comienza con el Capítulo 7, en el cual se consideran las grandes ideas de la genética que debe saber el profesor, con especial énfasis en aquellos problemas que nos afectan en nuestra vida diaria. Este capítulo, además, realiza una descripción histórica de la generación de las diferentes ideas que hoy en día son la base de los temas de herencia y variación. En el Capítulo 8 se revisa el conocimiento del currículum de genética, en estructura y secuencia, presente en Chile y en el resto del mundo. Especial énfasis se da a la relación y secuencia de la genética molecular y la mendeliana, así como a la variabilidad y otros temas genéticos que pueden ser de importancia para la comprensión de la Biología. En el Capítulo 9 se tratan las concepciones previas más importantes y frecuentes de los estudiantes, y que el profesor debería conocer para planificar su enseñanza y evaluación. En el Capítulo 10 se profundiza en las diferentes estrategias de enseñanza para desafiar las ideas previas de los estudiantes sobre la herencia, con especial énfasis en la modelación y la argumentación. El Capítulo 11 aborda el problema de cómo evaluar el progreso en la adquisición del conocimiento científico por parte del estudiante, así como su capacidad de aplicar conocimientos genéticos en su vida diaria.

En la parte III se sigue la misma lógica que en la parte anterior. El Capítulo 12 tiene que ver con las grandes ideas de la evolución y su influencia en la vida diaria. Se revisan en él una gran cantidad de ejemplos de adaptaciones y malas adaptaciones humanas, cuyo conocimiento aproxima la teoría evolutiva a los estudiantes. El Capítulo 13 examina el conocimiento curricular asociado a la evolución, tanto a nivel nacional como internacional. Se discute en él la ubicación del contenido de genética y su relación con la comprensión de la evolución, así como otros aspectos importantes en términos de la composición y secuencia curricular del contenido evolutivo. En el Capítulo 14 se analizan las preconcepciones más prominentes relacionadas con la evolución, las que se pueden asociar al mecanismo de selección natural, al proceso de evolución en sí y al estatus de la teoría como conocimiento científico válido. El Capítulo 15 revisa las estrategias más importantes para la enseñanza de la evolución, incluyendo el trabajo con la naturaleza de la ciencia, la evolución humana, la indagación y el contexto de la vida cotidiana. En el Capítulo 16 se analizan los instrumentos más utilizados para evaluar la calidad de las explicaciones de los estudiantes en relación con la selección natural, y que los profesores deberían manejar para monitorear el aprendizaje. A modo de conclusiones, en la parte IV se examina tanto la formación inicial de profesores de biología (Capítulo 17) como la formación continua (Capítulo 18), tomando como ejemplos el desarrollo de los conocimientos disciplinares y pedagógicos de la genética y la evolución.



Esperamos que todos los temas revisados en este libro sean, efectivamente, una ayuda y un apoyo para los profesores de biología, tanto en ejercicio como en formación, que quieran lograr la alfabetización científica de sus estudiantes en estos dos ámbitos tan importantes de la Biología.

**Hernán Cofré Mardones**
**Claudia Vergara Díaz**
**Ángel Spotorno**

prohibida su reproducción
Ediciones Universitarias de Valparaíso
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

## Referencias

Bybee, R. (1982). Citizenship and Science Education. *American Biology Teacher*, 44, 6, 337–345.

Ripple, W.J., Wolf, C., Newsome, T.M., Barnard, P., Moomaw, W.R. (2020). World scientists warning of a climate emergency. *BioScience*, 70, 8–12.

Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4–14.

Spotorno, A. (2019). *Evolución Humana. Adaptaciones y Maladaptaciones*. Editorial Latinoamericana.