



**Universidad de Concepción
Campus Los Ángeles
Escuela de Educación**

**HISTORIA DE LA CIENCIA COMO ESTRATEGIA DIDÁCTICA DE
ENSEÑANZA PARA LA CONCEPTUALIZACIÓN DE LA BIOLOGÍA
MOLECULAR**

**Seminario de Título para optar al Título Profesional
Profesor de Ciencias Naturales y Biología**

Por : Camila Antonia Chacana Díaz
Profesor Guía : Alejandra del Pilar Barriga Acevedo.

Comisión evaluadora : Víctor Leandro Campos Araneda.
Fabián Enrique Cifuentes Rebolledo

Los Ángeles, 2022.

©2022 CAMILA ANTONIA CHACANA DÍAZ.

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.



Quien suscribe, Camila Antonia Chacana Díaz, 18.536.224-8, alumna de la carrera de Pedagogía en Ciencias Naturales y Biología, Escuela de Educación, de la Universidad de Concepción, declara ser autor del Seminario de título denominado “Concepciones alternativas del uso de la voz como herramienta de enseñanza en el aula en estudiantes de pedagogía de práctica profesional de la Universidad de Concepción 2021” y concede derecho de publicación, comunicación al público y reproducción de esa obra, en forma total o parcial en cualquier medio y bajo cualquier forma del mismo, a la Universidad de Concepción, Chile, para formar parte de la colección material o digital de cualquiera de las bibliotecas de la Universidad de Concepción y del Repositorio UDEC. Esta autorización es de forma libre y gratuita, y considera la reproducción de la obra con fines académicos y de difusión tanto nacional como internacionalmente.

Asimismo, quien suscribe declara que dicha obra no infringe derechos de autor de terceros.



.....
FIRMA

Dedicatoria:

Este trabajo de investigación quiero dedicarlo de manera especial a todas las personas que me han brindado luz y apoyo en este proceso: a mi familia, a mi novio, mis amigos, a mis profesores de la Universidad de Concepción, especialmente a mi profesora Alejandra Barriga Acevedo, quien siempre deseó lo mejor para mi, y me apoyó con su cariño y sus conocimientos.



AGRADECIMIENTOS

Al finalizar esta etapa tan significativa y enriquecedora para mi, quiero expresar la más profunda gratitud a mis seres queridos, mi novio y mi familia que son mi fuerza, mi inspiración y mi luz, en especial a mis padres: Yanet, por acompañarme en mi aprendizaje más prematuro, esmerándose para que fuera una estudiante responsable, empática, compasiva, autoexigente y solidaria. Gracias a mi madre por el preciado tiempo que invitó en potenciar mis talentos, por impulsarme a vencer mis temores, por sostenerme con su calidez e incondicionalidad. Gracias a mi padre Juan Carlos, por ser un refugio para mi en momentos de temor y tristeza, por ser un referente de perseverancia, inteligencia y superación. Gracias a mis hermanos y a mis abuelos por su cariño y apoyo incondicional, en especial a mi abuelito Alberto, por transmitirme su humildad y alegría para afrontar la vida y la adversidad.

A la Universidad de Concepción, campus Los Ángeles. A todos los profesores que permitieron y apoyaron con dedicación, empatía y cariño mi formación disciplinar y profesional. De manera especial, quiero manifestar mi más sincera gratitud y admiración a mi querida profesora guía Alejandra Barriga Acevedo, por su alegría, empatía, calidad humana, tiempo, paciencia, comprensión y apoyo en este largo proceso cúlmine de mi etapa de formación de pregrado.

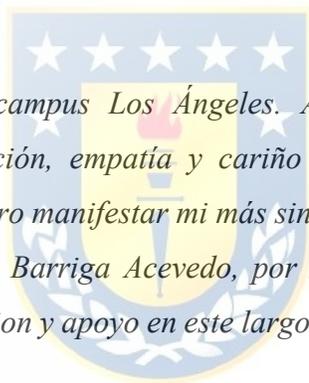


Tabla de contenido

<i>Dedicatoria:</i>	4
AGRADECIMIENTOS	5
<i>Resumen</i>	8
<i>Planteamiento del problema</i>	9
<i>Propuesta de investigación</i>	12
Pregunta de Investigación	12
Objeto de estudio.....	12
Objetivo general.....	12
Objetivos específicos.....	13
Hipótesis.....	13
La enseñanza de la ciencia: descontextualización y conductismo.....	14
Atomización de la enseñanza de la ciencia.....	15
Historia de la ciencia en el texto del estudiante.....	18
Alfabetización científica en el curriculum de ciencias.....	20
Historia de la ciencia.....	22
Cómo enseñar la HOS: Controversias científicas, errores científicos y experimentos científicos.....	24
La línea de tiempo como estrategia didáctica para la historia de la ciencia.....	26
Concepciones alternativas y concepciones erróneas de los estudiantes.....	28
<i>Diseño Metodológico</i>	30
Fundamento metodológico.....	30
Dimensión temporal	30
Diseño de estudio.....	30
Alcance de la investigación	31
Población.....	31
Muestra	31
Unidad de análisis	32
Variables de estudio	32
Elaboración de la estrategia didáctica:	33
Selección de los principales hitos para dar cumplimiento al objetivo 1:	33
Elaboración de la línea de tiempo para dar cumplimiento al objetivo 2:	33

• “Integrar los principales hitos en una línea de tiempo narrada como recurso de aprendizaje durante el proceso de intervención didáctica.”	33
Elaboración del Instrumento de evaluación y análisis de datos para dar cumplimiento a los objetivos 3 y 4, respectivamente:.....	34
Validación del instrumento y pilotaje	36
Análisis de datos.....	37
Resultados	39
Fiabilidad del instrumento:	42
Caracterización de la muestra:	43
Interés por conocer la Historia de la Biología Molecular antes y después de la intervención didáctica.....	44
Concepciones alternativas (escala tipo Likert):.....	45
Ordenación cronológica de los hitos:	49
Discusión	51
Sugerencias y límites de la investigación	56
Referencias	57
Anexos	68
Anexo 1. Línea de tiempo interactiva Genially (URL e imágenes de la línea de tiempo)	68
Anexo 2. Instrumento de evaluación aplicado a terceros medios	69
Anexo 3. Formulario de validación del instrumento de evaluación para el tribunal de expertos.....	74
Anexo 4. Fuentes bibliográficas consultadas para la elaboración de la estrategia didáctica (línea de tiempo).....	83
Anexo 5. Recursos disponibles en el programa de Biología celular y molecular del año 2021	84

Resumen

El presente estudio evaluó la apropiación de conceptos de biología molecular, a través de la identificación de concepciones alternativas, en estudiantes de tercer año medio del plan de formación diferenciado Humanista Científico del 2021, de las ciudades de Los Ángeles y Mulchén, utilizando para ello la Historia de la Ciencia como un elemento curricular, una estrategia de enseñanza y un recurso de aprendizaje. El estudio fue de carácter cuantitativo con diseño cuasiexperimental. Para la recolección de información se utilizó un Test con 24 aseveraciones y 1 pregunta de ordenación temporal, aplicadas de manera previa y posterior a la estrategia didáctica. El ítem de concepciones alternativas se analizó descriptiva y probabilísticamente, mientras que la pregunta de ordenación temporal sólo se analizó descriptivamente. Los resultados obtenidos muestran que no hay incremento en la apropiación de los contenidos de biología molecular evaluados en el ítem 1 del Pre-Test y Post-Test ($p > 0.05$), y solo lo hacen ($p < 0.05$) para un número muy reducido de preguntas ($n = 4$) asociadas a los conceptos de nucleótido, ARN y mutación. En cuanto a la ordenación cronológica, tampoco existe una apropiación de los hitos considerados. Estos resultados dan cuenta de lo abstracto de los contenidos, así como también del reducido tamaño de la muestra, puesto que la recolección de los datos se llevó a cabo en modalidad online debido a la contingencia sanitaria. En suma, la hipótesis de que la estrategia didáctica aplicada incrementa la apropiación de los conceptos científicos asociados a la Biología Molecular no puede ser aceptada.

Palabras claves: Historia de la ciencia, Biología molecular, alfabetización científica, concepciones alternativas, línea de tiempo.

Planteamiento del problema

El programa de estudio de Biología celular y molecular para la formación diferenciada de tercer año medio del 2021, contempla objetivos de aprendizaje, habilidades, conocimientos y actitudes que se consideran relevantes para que los jóvenes alcancen un desarrollo integral, que les facilite una comprensión profunda del mundo que habitan, y que despierten en ellos el interés por continuar estudios superiores y desarrollar sus planes de vida y proyectos personales (MINEDUC, 2021).

Es así como, el Ministerio de Educación considera de suma importancia que los estudiantes aprendan y sean capaces de “analizar el desarrollo del conocimiento de biología celular y molecular en Chile y el mundo, considerando diversas líneas de investigación y la relación entre ciencia, tecnología y sociedad”, haciendo hincapié en que para propiciar una visión humanizada y realista de la ciencia “el docente debiese mostrar cómo los conocimientos científicos contribuyen al desarrollo de tecnologías e innovaciones que, a su vez, generan impactos en el desarrollo científico, la sociedad y el ambiente”; propiciando el debate y la reflexión de casos históricos y contingentes en el ámbito nacional e internacional, con la finalidad de concientizar a los estudiantes de que el desarrollo del conocimiento y aplicaciones científicas y tecnológicas son cruciales y tienen consecuencias directas en las esferas: social, política, económica, ambiental, etc. (MINEDUC, 2021).

Al analizar algunos de los objetivos de aprendizaje de este programa, nos encontraremos con que el primero de ellos establece la importancia del “desarrollo del conocimiento de biología celular y molecular a lo largo de la historia y su relación con diversas disciplinas como la química, la física y la matemática, entre otros” (MINEDUC, 2021). No obstante, en la práctica, estos objetivos no cobran relevancia para los docentes, quienes se centran en abordar solo los conocimientos del área disciplinar y en su gran mayoría con un enfoque de enseñanza conductista, en desmedro de la enseñanza de los eventos históricos que acompañan ese conocimiento y del modelo constructivista propuesto por el MINEDUC. Es así como a partir de un estudio realizado por Vergara (2006), se evidenció que dos de los tres profesores de biología estudiados, priorizaban el aprendizaje de memoria,

por sobre la comprensión de conceptos. Este tipo de clases, con poca interacción y centrada en el profesor, también han sido descritas en profesores de matemáticas y lenguaje de enseñanza media (Martinic y Vergara, 2007).

Tal déficit en la enseñanza de la didáctica de las ciencias, nos lleva necesariamente a “la transmisión de una ciencia centrada en las leyes y conceptos científicos de manera descontextualizada y huérfana de su tiempo histórico”, lo que trae como consecuencia el mito de la neutralidad, o más bien, a la creencia de que el conocimiento científico es inmune a los errores en su proceso de construcción (Pedrós et al., 2007). Para subsanar esta falta, los docentes deben instar a los estudiantes a “aprender a encontrar e integrar múltiples fuentes de información, obteniendo una apreciación de cómo se producen realmente los logros en la ciencia, incluido el reconocimiento de que los procesos de investigación científica son imperfectos” (Linn et al., 2016).

La Historia de la Ciencia, de ahora en adelante HOS, por su sigla en inglés History of Science, cobra distintos significados dependiendo del autor, siendo una de las acepciones más acertadas la que nos aporta Izquierdo y colaboradores en el año 2016 (citado por Santibañez et al., 2017), quienes la han definido como “los conocimientos científicos que se han heredado generación tras generación”. A su vez Álvarez (2006) (citado en Santibañez et al., 2017), 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”.

Según Santibañez et al., 2017, se puede pensar en la HOS 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)”. La trascendencia de la HOS estriba en su función, esto es “promover la motivación en los estudiantes, para permitirles identificar sus propios obstáculos conceptuales, con el fin de promover en ellos un pensamiento crítico o para la enseñanza de aspectos de Naturaleza de la Ciencia (NOS), entre otras importantes aspiraciones de la alfabetización científica”.

Por otro lado, Campos (2005), señala que una de las herramientas que permite ordenar distintos sucesos, hechos, conceptos y personajes de manera cronológica, así como también

facilitar su representación visual, a través de una gráfica, es la línea de tiempo, la cual corresponde a una “representación visual de una serie de eventos o sucesos en una línea graduada de tiempo. De esta manera se tiene una visión objetiva de los hechos y los momentos históricos en que ocurrieron, lo cual facilita su descripción y comprensión”.

Por otra parte, Azeglio y colaboradores (2015) señalan que los estudios sobre las concepciones alternativas del alumnado están siendo cada vez más tenidas en cuenta como punto de partida de las investigaciones en Didáctica de las Ciencias, en la búsqueda de referencias para la innovación de la enseñanza. De esta manera, reconocen que poder detectar y reconocer las principales concepciones alternativas, le permiten al docente innovar y utilizar nuevas estrategias de aprendizaje con la finalidad de que los estudiantes logren construir el conocimiento en base a sus ideas previas y vivencias cotidianas (Azeglio et al., 2015).

El objetivo de la asignatura de Biología celular y molecular, perteneciente al programa de estudios de tercer año medio para el plan diferenciado científico-humanista del año 2021, es favorecer la “comprensión integral del desarrollo y la evolución del conocimiento científico, y la elaboración de explicaciones sobre metabolismo celular, expresión génica, posibles condiciones de salud, aplicaciones biotecnológicas en el ámbito de la industria y la salud” (MINEDUC, 2021).

La siguiente investigación tiene como objetivo principal, evaluar la apropiación de conceptos de Biología Molecular, a través de la identificación de concepciones alternativas, las cuales de acuerdo a lo planteado por Azeglio y colaboradores (2015) le permiten al docente innovar, y utilizar nuevas estrategias de aprendizaje con la finalidad de que los estudiantes logren construir el conocimiento en base a sus ideas previas y vivencias cotidianas (Azeglio et al., 2015). Por ello es que las concepciones alternativas de los estudiantes cumplen un rol esencial en esta investigación, puesto que permitirán detectar las ideas previas en los estudiantes de tercer año medio del plan de formación diferenciado Humanista Científico, y a la vez innovar utilizando la Historia de la Ciencia, como un elemento curricular, una estrategia de enseñanza y un recurso de aprendizaje, evidenciando errores científicos, experimentos clásicos, disputas y desarrollo de teorías mediante el uso de una línea de tiempo narrada.

Propuesta de investigación

Pregunta de Investigación

¿Es la historia de la ciencia un elemento curricular, estrategia didáctica de enseñanza y recurso de aprendizaje adecuado para la conceptualización de la biología molecular y la apropiación de términos científicos asociados a ésta disciplina?

Objeto de estudio

La apropiación de conceptos de biología molecular en los estudiantes de tercero año medio del plan de formación diferenciado Humanista Científico, utilizando para ello la Historia de la Ciencia como elemento curricular, estrategia de enseñanza y recurso de aprendizaje.

Objetivo general

Evaluar la apropiación de conceptos de biología molecular, a través de la identificación de concepciones alternativas, en los estudiantes de tercer año medio del plan de formación diferenciado Humanista Científico del 2021, de las ciudades de Los Ángeles y Mulchén, utilizando para ello la Historia de la Ciencia como un elemento curricular, una estrategia de enseñanza y un recurso de aprendizaje.



Objetivos específicos

- Identificar los hitos que han contribuido al desarrollo del conocimiento de la Biología molecular.
- Integrar los principales hitos en una línea de tiempo narrada como recurso de aprendizaje durante el proceso de intervención didáctica.
- Analizar si hay o no diferencia en la apropiación de conceptos de biología molecular, a través de la identificación de concepciones alternativas, en los estudiantes de IIIº año medio, en relación a la utilización de la Historia de la ciencia (HOS) como elemento curricular, estrategia didáctica de enseñanza y recurso de aprendizaje.
- Evaluar la capacidad de pensamiento temporal y espacial de los estudiantes de tercer año medio, a partir de la ordenación cronológica de los hitos presentados en la línea de tiempo narrada.



Hipótesis

La incorporación de la Historia de la Ciencia (HOS) como un elemento curricular, estrategia de enseñanza y recurso de aprendizaje permite un incremento en la apropiación de los conceptos científicos asociados a la Biología Molecular en los estudiantes de tercero medio del plan de formación diferenciado Humanista Científico.

Marco teórico

La enseñanza de la ciencia: descontextualización y conductismo

Porlán (2003), señala que uno de los vicios del proceso de enseñanza de las ciencias es su descontextualización, que consiste en obviar las condiciones científicas, sociales, históricas e ideológicas en las que el conocimiento científico se construye y evoluciona. Este fenómeno es definido por Izquierdo y colaboradores (2016) como anacronismo, el cual consiste en la “interpretación de los eventos antiguos como si se produjeran en un entorno científico actual” y cuyo corolario consiste en ponderar de manera negativa a los científicos sin considerar los aciertos obtenidos por estos en otras épocas, de acuerdo a las herramientas y limitaciones del contexto específico. Más aún, otra imperfección en la enseñanza de la ciencia consiste en la hagiografía que básicamente es “escoger una figura histórica y concentrar en ella todos los méritos de los logros científicos de una época, como si no hubiera existido una comunidad científica que aportara sugerencias, preguntas y conocimientos relevantes”; y en atribuirle a esta figura virtudes y capacidades que lo posicionan como un ejemplar a seguir (Izquierdo et al., 2016).

Para Acevedo (2004), uno de los “mayores obstáculos de la educación científica es el punto de vista propedéutico de la universidad, según el cual la enseñanza de las ciencias anterior a la institución universitaria debe destinarse a los conceptos científicos esenciales para los estudios superiores”, en desmedro de una visión integradora de la ciencia. Así también propone, las siguientes tres dimensiones que debería considerar un docente, a la hora de contextualizar los conceptos científicos:

i. *Contextualización histórica*, como forma de mostrar cómo y por qué surgen las ideas y teorías científicas, frente a la visión aproblemática que suele presidir la enseñanza de las ciencias la mayoría de veces.

ii. *Contextualización metodológica*, como forma de incidir no sólo en los contenidos como objetos terminales, sino también en las formas bajo las que éste puede generarse, en oposición a la visión dogmática y de sentido común que suele ofrecerse a través de una ciencia acabada y prefabricada de la que el alumno es un mero receptor y consumidor.

iii. *Contextualización socio-ambiental*, como forma de ver la utilidad de la ciencia en nuestro entorno y en nuestro modo de ver el mundo y de interactuar con él, frente a la visión teoricista y descontextualizada que concibe la ciencia como algo puramente abstracto y sin relación con la realidad circundante.

Acevedo (2004), afirma que es esencial que en la labor docente se integre la ciencia bajo estas tres perspectivas, y que es ahí cuando podemos hablar de una ciencia que atribuye el debido conocimiento a las personas que han contribuido más allá de las ideas o limitaciones impuestas en su época; idea que guarda estrecha relación con los objetivos establecidos en las bases curriculares de biología molecular y celular del Ministerio de Educación chileno (MINEDUC, 2021).

Uno de los beneficios de enseñar la Ciencia desde una perspectiva histórica, es que “se pone en primer plano cuestiones muy difíciles de la ciencia que normalmente se suprimen en los libros de texto, como la capacidad de cambio de las teorías, el significado del apoyo experimental o trabajo colaborativo y su aplicación en la selección de una teoría, frente a otras más complejas.” (McComas, 1998).

Atomización de la enseñanza de la ciencia

Uno de los errores, de los que adolece el sistema de formación inicial docente, guarda relación con el conocimiento disciplinar que prima en instituciones universitarias o técnicas, el cual suele entregarse de manera fraccionada; no habiendo una visión de conjunto, ni se comprende la interacción entre las partes, de forma enciclopédica; los conceptos se aprenden como datos, fórmulas, algoritmos, definiciones formales, etc., y además como un conocimiento absoluto e inmutable (Porlán, 2003). Los docentes enseñan ciencia como un saber aislado de las creencias o teorías epistemológicas que le dan sentido, tales como el positivismo, relativismo, absolutismo, evolucionismo, constructivismo, etc. (Porlán, 2003). No es menos cierto afirmar que existe una amplia variedad de programas de capacitación docente, sin embargo, de acuerdo con lo planteado por Abd-El.Khalick y Lederman (2000), dada la multitud de objetivos que estos cursos y programas suelen perseguir, es difícil imaginar que se pueda dedicar más tiempo a ocuparse de la Naturaleza de la ciencia (NOS)

en estos contextos. Es muy poco probable que las concepciones que tienen los docentes de ciencias sobre la NOS (que se han desarrollado a lo largo de al menos 16 años de ciencia preuniversitaria y universitaria) puedan actualizarse eficazmente durante unas pocas horas, días o semanas para esa materia. Desde la mirada de ambos autores, no es efectivo un curso o programa complementario sobre la historia de la ciencia, si no se les proporciona a los futuros profesores un marco conceptual coherente con las concepciones actuales de la NOS antes de su inscripción en los cursos de HOS, ya que muchos de ellos aún presentan un sesgo al considerar algunas ideas como erróneas de manera tajante, en vez de analizar el contexto histórico, los esfuerzos e ideas predominantes en épocas pasadas y las preguntas que originaron ciertos experimentos o investigaciones más allá de su resultado (Abd-El-Khalick y Lederman, 2000).

Bajo la visión de Porlán (2003), mejorar en profundidad la formación inicial de los profesores de ciencias no consiste en añadir más tiempos y espacios curriculares para abordar contenidos didácticos y experiencias prácticas, sino que radica en “modificar la concepción aditiva que yuxtapone, en el mejor de los casos, ciertas dosis de contenidos didácticos innovadores, siempre periféricos, a una larga formación científica de carácter positivista llevada a cabo en el marco del modelo didáctico dominante (MDD)”. El paradigma constructivista del aprendizaje proclama que este último es eficaz cuando somos capaces de asentar nuevos conocimientos basándolos en aquellos previos de los que ya dispongamos, así, a través del proceso de andamiaje se guía al estudiante desde aquello que ya sabe hasta aquello que puede saber (Castro et al., 2012). Esta corriente se origina de los planteamientos de exponentes como Jean Piaget (Teoría constructivista del desarrollo de inteligencia); Lev Vygotsky (Fundamentación de la psicología histórico-cultural); Jerome Bruner (Teorías del aprendizaje dentro del campo de la psicología educativa) y David P. Ausubel (La teoría del aprendizaje significativo) (Valdivia, 2016). Todas estas teorías apuntan a la construcción del conocimiento, reconociendo un papel crucial al entorno social; donde cobra especial importancia el trabajo colaborativo propuesto por Vigotsky, la construcción del conocimiento a partir de la información que el estudiante posee previamente, y cómo a partir de estos se condicionan los nuevos conocimientos y experiencias; que, según la psicología

cognitiva, son susceptibles de modificación, reestructurando el conocimiento del estudiante (Valdivia, 2016).

En este contexto, Porlán en el año 2003, basándose en los modelos constructivistas, propone algunas estrategias alternativas al modelo conductista a la hora de formar profesores de ciencias y que son descritos sucintamente a continuación:

- *Promover un conocimiento de la disciplina problematizado, evolutivo y complejo:* Frente a la formulación tradicional de los contenidos como “temas” se propone trabajar a partir de los problemas más significativos de la disciplina, considerándolos desde una perspectiva interdisciplinar y social, que involucra líneas de investigación y metodologías específicas para su resolución. También consiste en superar una visión estática, neutral y acabada de la ciencia, característica del MDD (modelo didáctico predominante), y avanzar hacia otra más dinámica, contextualizada y relativa.

- *Adoptar una perspectiva general de carácter interdisciplinar, transdisciplinar y metadisciplinar:* Este punto alude a evitar la atomización de la ciencia, fomentando una visión sistémica del conocimiento científico y una representación integrada de la realidad, de esta manera cada conocimiento disciplinar, no se concebirá como un compartimiento separado del resto, sino más bien como un todo integrado, más allá de que hayan conceptos o contenidos generales o macro, otros intermedios y los últimos sean de carácter micro. Es crucial que el docente alinee su proceso de enseñanza a los conceptos centrales, los procedimientos y valores metadisciplinarios.

En el programa de estudios ellos se conciben como conocimientos, habilidades y actitudes. Por último, es necesario que el docente propicie o fomente una visión crítica y contextualizada de la disciplina, los problemas socio-ambientales, y los intereses y necesidades de determinados grupos sociales, considerando también la cultura etaria, contexto social y los agentes motivadores de sus estudiantes.

- *Analizar desde un punto de vista didáctico las experiencias, concepciones, modelos y cosmovisiones de los adolescentes:* Esto conlleva un necesario análisis previo de las concepciones alternativas del estudiantado, las cuales están estrechamente ligadas a sus vivencias y acervo cultural. Un aprendizaje significativo no es posible cuando los estudiantes memorizan los contenidos desligados de sus experiencias, ya que sólo son reactivados de manera intermitente, para evaluaciones sumativas o para obtener una calificación.

- *Promover una interacción significativa entre las aportaciones fundamentales de las Ciencias de la Educación y los problemas más significativos de la práctica docente:* Esta idea guarda relación con que no sólo se deben considerar las preconcepciones e intereses de los estudiantes, sino que también es de suma relevancia la decisión sobre qué enseñar y para qué enseñar, lo cual depende en última instancia de los objetivos educativos considerados más importantes y de teorías curriculares más o menos explícitas en el currículum. No es menos importante, generar un ambiente propicio para el aprendizaje, donde prime el respeto mutuo, confianza, motivación, reconocimiento y oportunidades equitativas para cada estudiante (MINEDUC, 2008). La programación cerrada y temática, la práctica expositiva y la evaluación sancionadora no son la única manera de enseñar, sino una forma dada de enseñar.

- *Desarrollar modelos didácticos alternativos a la cultura escolar tradicional:* Es necesario que el docente innove continuamente en los procesos de planificación, intervención y evaluaciones aplicadas, sin considerarlos como procesos mecánicos e inalterables (Porlán, 2003).

Historia de la ciencia en el texto del estudiante

El Ministerio de Educación, como fundamento del ajuste curricular efectuado el año 2009, sustenta sus propósitos formativos, objetivos fundamentales y contenidos mínimos obligatorios, en base a ideas como la alfabetización científica y la promoción de la enseñanza de conceptos y habilidades del pensamiento científico de manera integrada. Por otra parte,

reconoce “el papel crucial que juega el carácter histórico y dinámico del conocimiento científico, a través de la reconstrucción de la trayectoria histórica y el contexto social de determinados conceptos o descubrimientos”, lo que permite en última instancia una comprensión significativa y perdurable de la ciencia (MINEDUC, 2009).

La historia de la ciencia se concibe en el texto del estudiante de tercero medio como un complemento, donde se proporciona la información de datos o descubrimientos de manera sucinta y escueta. En este mismo sentido Cofré, asevera el año 2012, que la naturaleza de la ciencia se encuentra fragmentada y de manera implícita en los documentos oficiales. Siguiendo este razonamiento Abd-El-Khalick y Lederman (2000), afirman que un enfoque explícito (que no debe confundirse con un enfoque didáctico) que utiliza elementos de la historia y la filosofía de la ciencia, podría ser más eficaz que un enfoque implícito para mejorar las opiniones de los profesores de ciencias sobre la NOS.

A su vez, los resultados arrojados por Valdivia (2016), al medir el nivel de conocimiento de los docentes acerca del ajuste curricular realizado en 2009 (MINEDUC, 2009), dan cuenta de que “si bien los profesores reconocen la existencia del ajuste, éstos no los han revisado y/o asimilado a cabalidad, y por lo tanto podrían no estar aplicando los cambios necesarios”. Ahora bien, en cuanto a la utilización de metodologías que permiten la realización de diversas actividades complementarias al interior y fuera de la sala de clase, se concluye que no han sido utilizadas específicamente para dar cumplimiento a las renovaciones presentadas por el Ministerio de Educación. Completa esta idea, el hecho de que un bajo porcentaje de los docentes se dedica a revisar los documentos relativos a la actualización curricular, lo que implica que los fundamentos constructivistas que se promueven en enseñanza, también sean utilizados en un menor porcentaje; lo cual queda evidenciado al medir el grado de alfabetización científica de los estudiantes de primer año de enseñanza media, en quienes no se observó un incremento al ser sometidos a las pruebas durante los años 2012 y 2014 (Valdivia, 2016).

El programa de estudios de biología molecular para tercero y cuarto medio del año 2021, contempla en su primer objetivo de aprendizaje “Investigar el desarrollo del conocimiento de biología celular y molecular a lo largo de la historia y su relación con diversas disciplinas como la química, la física y la matemática, entre otros” (MINEDUC,

2021); para lo cual propone como actividad inicial, la indagación de los principales hitos en torno a la historia y desarrollo de la Biología molecular como disciplina, utilizando como herramienta la línea de tiempo. En base a lo anteriormente propuesto, es que se considera la línea de tiempo, una estrategia didáctica sencilla, que permite ordenar y presentar las ideas en torno a la HOS de manera lógica e innovadora.

Alfabetización científica en el curriculum de ciencias

El programa de estudio de Biología celular y molecular para la formación diferenciada de tercero y cuarto medio del 2021, junto a diversos especialistas e investigadores de la enseñanza de las ciencias, aseguran que la enseñanza debería estar enfocada en la alfabetización científica y en el desarrollo de competencias, más que en la memorización de datos, fechas o fórmulas. Este cambio curricular implica la modificación del modelo tradicional de “ciencias a través de la educación” por uno más adecuado, basado en las necesidades sociales de la educación, que es el de “educación a través de la ciencias”; así como también, incorpora la historia y naturaleza de las ciencias y el quehacer científico que contribuyan a la reflexión de los estudiantes sobre qué son, cómo se hacen y quiénes hacen las ciencias, así como su vinculación con las problemáticas e intereses de su propio contexto” (Chamizo, 2017).

Frente a los objetivos de aprendizaje que requieren ser cubiertos, Quintanilla (2000) propone que una de las metas que ha de tener “un curriculum de ciencias biológicas epistemológicamente fundamentado, será la de estimular a los estudiantes a protagonizar creativamente la construcción social del conocimiento científico en la escuela”, aspecto que cobra crucial importancia en la educación y alfabetización científica de los estudiantes.

“El término alfabetización científica tiene su origen en la prensa estadounidense del año 1957, justo después del lanzamiento del Sputnik, y se convirtió en un término de uso corriente tras el boom económico de Japón de los años 80” (López et al., 2016). A partir de ese momento, se consideró que la democracia necesita una ciudadanía que entienda los problemas científicos y tecnológicos para que pueda elegir entre las diferentes propuestas presentadas por las diferentes opciones políticas.

A nivel nacional el desarrollo de la alfabetización científica no ha sido fortalecido en los procesos de enseñanza y aprendizaje, de lo cual se da cuenta en los actuales planes y programas presentados por el Ministerio de Educación (Valdivia, 2016). Lo anterior, según Valdivia (2016), guarda relación con el bajo nivel de alfabetización científica de docentes, el escaso conocimiento que tienen estos últimos del ajuste curricular, y la ausencia de cambios estructurales y/o metodológicos para implementar dicho ajuste.

El término alfabetización científica está sujeto a diversas interpretaciones y no necesariamente excluyentes entre sí, dentro de las cuales encontramos las siguientes definiciones:

- Alfabetización científica práctica, que permita utilizar los conocimientos en la vida diaria con el fin de mejorar las condiciones de vida, el conocimiento de nosotros mismos, etc.
- Alfabetización científica cívica, para que todas las personas puedan intervenir socialmente, con criterio científico, en decisiones políticas.
- Alfabetización científica cultural, relacionada con los niveles de la naturaleza de la ciencia, con el significado de la ciencia y la tecnología y su incidencia en la configuración social.

Esta clasificación permitió que surgiera la necesidad de incluir en los currículos de ciencias, además de los conocimientos científicos, aspectos relacionados con la tecnología, la sociología, la filosofía o la historia, a fin de lograr una mayor participación ciudadana en la toma fundamentada de decisiones. Dicho de otra manera, es necesario que los docentes a partir de una sólida formación inicial en aspectos de NOS y didáctica de la Ciencia, fomenten la capacidad de argumentación de los estudiantes, y generen ambientes propicios para entregar su propia visión y fundamentar sus opiniones y decisiones frente a la resolución de problemas (Carrascosa et al., 2008). Esto se hace más relevante si se analizan las deficiencias de nuestro sistema escolar, centrado en el modelo conductista, evidenciado en los deficientes resultados obtenidos por nuestros estudiantes en pruebas nacionales e internacionales. Es así como en el SIMCE (2015), se aprecia una considerable disminución del porcentaje de estudiantes en Nivel Adecuado en Comprensión de Lectura y Ciencias Naturales. De manera

paralela, los resultados en comprensión de lectura de estudiantes de establecimientos particulares y municipales arrojan una baja significativa en su puntaje respecto del año 2012 (Agencia de Calidad de la Educación, 2018). Finalmente, a nivel internacional en la prueba PISA (2018), Chile obtuvo un promedio de 452 puntos en comprensión lectora, resultado menor al promedio de la OCDE (487 puntos), y obtuvo además 444 puntos en la prueba de Ciencias, resultado menor al promedio de la OCDE (489 puntos).

Historia de la ciencia

La palabra contexto proviene del latín *contexere* que significa “tejer juntos” y, según indica el diccionario, remite a un entorno físico o a una situación determinada, ya sea política, histórica, cultural o de cualquier otra índole, en la cual se considera un hecho (Chamizo, 2017).

El término historia de la ciencia (HOS) cobra distintos significados dependiendo del autor, siendo uno de los más completos el que nos aportan Izquierdo, Quintanilla, Vallverdú y Merino en el 2007 (citado por Santibañez et al., 2017) quienes la han definido como “los conocimientos científicos que se han heredado generación tras generación”. A su vez Álvarez (2006) (citado en Santibañez et al., 2017), 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”.

Para Santibañez y colaboradores (2017), es posible concebir 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)”. De este modo, se puede considerar la HOS, como un contenido obligatorio, que se ha incorporado al programa de estudios de biología molecular a través de los sucesivos ajustes curriculares, como una estrategia de enseñanza, según la cual el profesor planifique y ordene jerárquicamente los objetivos y contenidos para enseñar a los alumnos, y finalmente como un recurso de aprendizaje, que en última instancia corresponde a las metodologías concretas que se utilizarán para enseñar los contenidos siguiendo el orden metodológico propuesto con

anterioridad, a través de líneas de tiempo, narraciones, experimentos, controversias, errores científicos, etc. (Santibañez et al., 2017). Según Banasco y Hernández (2014), la interpretación científica del desarrollo histórico de la naturaleza resulta fundamental para todos los profesionales que se dedican a la enseñanza de las ciencias, sin lo cual no puede lograrse una apreciación exacta de los progresos alcanzados.

Es fácil que los docentes de ciencias enseñen lo que se considera la buena ciencia (es decir, la actual), considerando como acertado sólo los pensamientos e ideas de aquellos cuyo conocimiento fue validado socialmente desde la antigüedad hasta hoy. Por ende, es normal que en el presente se torne inverosímil el significado de las explicaciones que antaño se atribuía a fenómenos que actualmente se explican de manera muy diferente y con las teorías e instrumentos que están disponibles. “Entidades como *flogisto, espíritu nitroaéreo, fuerza viva, mixto, sustancia, elemento...*, “han desaparecido” y ahora son otras las entidades que enseñamos: átomos, moléculas, fuerza, energía; y aunque las palabras ‘sustancia’ y ‘elemento’ se mantengan, ya no significan lo mismo”. No obstante, es fundamental desviar la atención y centrarse en el trasfondo del asunto, es decir comprender que las “preguntas y respuestas que ahora nos parecen equivocadas tuvieron su razón de ser en su momento y contexto, y que eran sensatas porque fueron interpretaciones plausibles de fenómenos que aún hoy son importantes”. La didáctica de la ciencia requiere de la historia para poder “diseñar actividades docentes que comuniquen a los alumnos que la ciencia *es futuro* y que los profesores les invitamos a compartir la aventura de *hacer ciencia* interviniendo en él como lo hicieron antes de nosotros muchos otros hombres y mujeres” (Izquierdo et al., 2016).

Una de las contribuciones importantes de la historia de la ciencia, es “ofrecernos ejemplos de cómo las personas se han enfrentado al mundo material en el cual viven y han ejercido su “inteligencia creadora” para darle sentido, transformándolo de acuerdo con los valores de su época (Izquierdo et al., 2016).

Una de las contribuciones importantes de la historia de la ciencia al proceso de enseñanza aprendizaje, consiste en ayudar a los estudiantes a desarrollar un escepticismo saludable con respecto a cuestiones y teorías científicas (Irwin, 2000). Esta habilidad es de vital importancia en una ciudadanía que asume un papel activo en la toma de decisiones que impactan a la comunidad científica y a toda la humanidad. Lo anterior cobra relevancia en

asuntos relacionados con las ciencias de la tierra, como el cambio climático global, aumento del nivel del mar, disminución de los recursos naturales no renovables y financiación para la investigación de la NASA (Boerner, 2014).

Mellado (2003), considera la filosofía e historia de la ciencia “como un elemento esencial para el análisis y fundamentación de las disciplinas científicas”. Además, la filosofía de la ciencia puede ayudar a los profesores a explicitar sus puntos de vista sobre la construcción del conocimiento científico desde su origen a la actualidad. De igual forma Abd-El-Khalick y Lederman (2000), consideran fundamental para la labor docente que estos conozcan una amplia gama de ejemplos, explicaciones, demostraciones y episodios históricos relacionados a la ciencia. Deben poder hablar cómodamente sobre varios aspectos de la NOS, contextualizar la enseñanza de la NOS con algunos ejemplos o “historias” (HOS), y diseñar actividades basadas en la ciencia para hacer que los aspectos de la NOS sean accesibles y comprensibles para los estudiantes.

Para algunos autores, inevitablemente contextualizar en gran medida la NOS significa integrar ejemplos de ciencia histórica y contemporánea que están vinculados a las ideas fundamentales que se enseñan en asignaturas científicas particulares (Clough, 2006).

Es por lo anteriormente descrito, que resulta de suma importancia incluir la enseñanza de la HOS, no sólo porque se incorpora como un objetivo de aprendizaje en el programa de estudios de biología molecular de tercer medio, sino que también para lograr el aprendizaje significativo de los estudiantes, de manera que integren los contenidos desde una perspectiva histórica, contextualizada y realista, lo que a su vez facilita el proceso de alfabetización

Cómo enseñar la HOS: Controversias científicas, errores científicos y experimentos científicos

Controversias científicas

La disputa científica como estrategia para enseñar aspectos de la NOS puede mejorar las concepciones de los estudiantes sobre estos aspectos. Un estudio realizado el año 2010, por Paraskevopoulou y Kolioussoulus, demuestra que “el uso de una disputa científica y la

incorporación explícita de aspectos del conocimiento científico en el contenido científico de la lección, mejora las concepciones de los estudiantes sobre qué es la ciencia y cómo la ciencia opera” (Paraskevopoulou y Koliopoulos, 2010).

Error científico

De acuerdo a los principios que guían la NOS, los estudiantes “necesitan aprender cómo la ciencia puede fallar. Muchas personas apelan a la vacilación de la ciencia para justificar su rechazo a la evolución, la ciencia del clima o las vacunas” (Allchin, 2011; Allchin, 2012). Es decir, es necesario que los alumnos conozcan las diversas “fuentes de error o las formas en que una afirmación individual o su evidencia pueden ser vulnerables. Entonces, a partir del compromiso con los casos históricos, también deben familiarizarse con el espectro de tipos de errores en la ciencia” (Allchin, 2011; Allchin, 2012).

En este mismo sentido, Allchin el año 2012 plantea que “cada conclusión errónea en la ciencia es una ocasión potencial para aprender prácticas científicas o cómo los científicos construyen afirmaciones confiables”, por ende, la historia puede ser la hoja de ruta de un maestro, puesto que se considera al error como un “potente vehículo para aprender acerca de los métodos que garantizan la confiabilidad en la ciencia” (Allchin, 2012). Comprender los tipos de errores científicos constituye una herramienta analítica esencial para la alfabetización científica de los estudiantes.

Experimentos científicos

Según Clough (2006) “las actividades de laboratorio de investigación en las que los estudiantes diseñan procedimientos, luchan con los datos y reportan su trabajo para la revisión por pares, brindan muchas oportunidades para contextualizar la instrucción de la NOS en diversos grados”

Más aún, dicho autor insta a los docentes a generar un cambio en las concepciones alternativas de los estudiantes que apuntan a considerar a los científicos como seres

superiores en inteligencia y recursos, sobrevalorando todo lo referente a su quehacer desde los materiales y laboratorios hasta los procedimientos empleados por estos. Por lo tanto, propone como estrategia ampliar el rango de libertad y reflexión de los alumnos, para discutir y concluir, por qué se siguen ciertos pasos o etapas en los procedimientos del laboratorio, o qué aspectos deben incluir en los experimentos o laboratorios para comunicar de manera clara y completa los resultados y objetivos obtenidos en los procedimientos (Clough, 2006).

La línea de tiempo como estrategia didáctica para la historia de la ciencia

La línea de tiempo es una estrategia didáctica que utiliza como base “la estructura de un mapa conceptual, que gráficamente ubican: una situación temporal, un hecho y/o proceso, sociedad, etc. que se estudia o que se pretende estudiar” (Cabrero, 2000). Al respecto, Campos (2005), la define como una “representación visual de una serie de eventos o sucesos en una línea graduada en unidades de tiempo apropiadas a la situación presentada (ejemplo: días, semanas, meses, años, siglos, etc.)”. El ejemplo clásico para la línea del tiempo es aquella que se encuentra subdividida en unidades temporales dentro de la cual se describe un hecho o suceso. Para construirla, es necesario recabar toda la información posible, ya sea de libros, revistas, videos, etc.

También es posible agregar fotos o imágenes con el fin de ilustrar los hitos, personajes o ideas centrales que se quieran abordar. En definitiva lo que se busca es una representación grafica, que a la vez sea motivadora y didáctica, elementos principales para este tipo de estrategia son:

- *Tema o tópico a tratar:* Contenido a ser representado en la línea
- *Eventos importantes a destacar:* Sucesos que se han desarrollado a través del tiempo y que dan significado al tema
- *Fechas específicas:* Tiempo en que ocurrieron los eventos a ser presentados.

Sumado a lo previamente descrito, la utilidad de las líneas de tiempo radica en que sirven para:

- Ubicar en el tiempo eventos, sucesos, hechos, fenómenos y otros para entender su relación e impacto
- Organizar recuerdos y conexiones entre ellos
- Revisar o reforzar lo aprendido
- Reforzar patrones de información y
- Favorecer la retención y precisión

En consecuencia, las líneas de tiempo resultan ser una estrategia de enseñanza útil a la hora de recabar, organizar, estructurar y narrar de manera lógica y sistemática los descubrimientos realizados por personas situadas en un contexto histórico dado, ya que así, es factible determinar las causas e ideas que permitieron contribuir al desarrollo del acervo científico, social y cultural.

En la presente investigación, se utilizará una estrategia virtual, debido a que “ los ambientes virtuales son medios de amplia difusión y alcance” (Faría et al., 2021). Así también, mediante esta investigación se pretende crear e implementar un “producto que integre la historia de la ciencia y la tecnología informática dentro de la categoría amplia de materiales educativos que se llaman objetos virtuales de aprendizaje, los cuales integran en última instancia contenido multimedia, *software* educativo, sistemas expertos y tantos otros afines” (Wiley, 2002). Es así, que para el Objeto virtual de aprendizaje (OVA) que se busca integrar por medio de este estudio, se combina una plataforma interactiva de carácter gratuito: Genially (<https://genial.ly/es/>), y la narración del descubrimiento de la molécula de ADN, para presentar de manera innovadora, creativa y ordenada experimentos científicos, episodios y controversias científicas históricas.

Concepciones alternativas y concepciones erróneas de los estudiantes

El Movimiento de las Concepciones Alternativas liderado en Inglaterra por Rosalind Driver y en Francia por Laurence Viennot, sentó las bases de la Didáctica de las Ciencias como un campo científico (Tamayo, 2009). Azeglio y colaboradores (2015), proponen que los estudios sobre las concepciones alternativas del alumnado están siendo cada vez más tenidas en cuenta como punto de partida de las investigaciones en Didáctica de las Ciencias, en la búsqueda de referencias para la innovación de la enseñanza.

Para Caballero (2008), las ideas que poseen los estudiantes sobre la realidad científica del mundo que les rodea, siendo más o menos acertadas, han sido objeto de distintas denominaciones por parte de diversos autores: “Ausubel las denominó *preconceptos*, Novak las llamó *concepciones erróneas*, Osborne y Freyberg apelaron a ellas como *ideas de los niños*, Pozo y Carretero las consideraron *concepciones espontáneas* y Giordan y De Vecchi las llamaron *representaciones*”. Sin embargo, el término que está en boga desde los últimos años es el de “concepciones alternativas, cuya utilización evita dar por sentado que todas las ideas que poseen los estudiantes están equivocadas” (Caballero, 2008). Esperar que los estudiantes generen de manera autónoma ideas científicas aceptadas referentes a la NOS, es un sinsentido para los campos de estudio en los que las mentes brillantes han luchado durante décadas, incluso siglos, para llegar a nuestros conocimientos actuales. Clough (2006) agrega que “los estudiantes ya poseen conceptos erróneos profundamente arraigados sobre el contenido científico y la NOS”, por lo tanto, esto refleja un punto de vista ingenuo al asumir cómo aprenden las personas.

En palabras de Azeglio y colaboradores (2015), la creación y evolución de las ideas mentales que las personas utilizan para explicar la realidad surgen naturalmente, pero “no dejan de ser complejos procesos, producto de creencias personales, interacciones sociales, experiencias vividas y formas culturales de razonamiento. Cuando estas ideas no se parecen a las aceptadas actualmente por la ciencia, suelen llamarse concepciones alternativas”.

Calixto y García (2011), plantean que este término resulta ser más pertinente para reconocer aquellos conceptos que no han podido ser incorporados como conceptos científicos y que cada uno de los términos mencionados anteriormente tienen un sentido diferente, en

donde las concepciones alternativas, al igual que los marcos alternativos, ideas pre-instruccionales y esquemas conceptuales alternativos no involucran una subvaloración de la idea de los alumnos, ya que son valoradas como conocimiento cotidiano que debe ser conciliada con el conocimiento científico vigente (Cubero, 1994). Para estos autores, existen tres fuentes de las cuales surgen las concepciones alternativas:

- Las experiencias cotidianas de los alumnos que son llevadas a la clase.
- Las experiencias obtenidas durante la enseñanza en clase.
- Las propagadas por profesores y por los libros de texto.

Finalmente, Calixto y García (2011) definen el término de concepciones alternativas como “el conjunto de comprensiones relacionadas a un mismo conjunto de fenómenos y difieren de los modelos de explicación científica” o como “construcciones personales, con las cuales cada sujeto explica la realidad que conoce e interioriza las experiencias que vive de modo que le resulten coherentes”.

Por otra parte, las concepciones erróneas implican una necesaria comparación de las ideas de los individuos con el conocimiento científico y son valoradas como equivocadas; en la ciencia de los niños se acepta la existencia de representaciones diferentes a las científicas, estableciendo relaciones entre ambas (Calixto y García, 2011).

Por lo tanto, en esta investigación se empleará de ahora en adelante el término de concepciones alternativas, temática en la cual se centrará el presente estudio con la finalidad de dilucidar cuáles son las principales concepciones alternativas en materias de biología molecular en estudiantes de tercer año medio.

Diseño Metodológico

Fundamento metodológico

El presente estudio tiene como propósito evaluar la apropiación de conceptos de Biología Molecular en los estudiantes de tercero del plan de formación diferenciado Humanista Científico, utilizando para ello la historia de la ciencia como elemento curricular, estrategia de enseñanza y recurso de aprendizaje. El enfoque de esta investigación es de carácter cuantitativo, ya que permite obtener un conocimiento sistemático, comprobable y comparable. Explica los fenómenos evaluados apoyando los resultados a través de herramientas estadísticas y probabilísticas, que permiten, finalmente, la generalización de las conclusiones (Vieytes, 2004).

Dimensión temporal

La naturaleza temporal de la investigación es de tipo longitudinal, puesto que se caracteriza por recopilar datos en diferentes tiempos y en variados contextos, permitiendo realizar inferencias acerca del cambio, sus causas, sus efectos y las relaciones evolutivas que existen entre las variables estudiadas (Hernández et al., 2006). El periodo en que se realizó la investigación propuesta fue durante el segundo semestre del año 2021.

Diseño de estudio

El diseño de este estudio es cuasiexperimental, ya que los sujetos de interés, es decir los alumnos de tercer año medio, no se asignaron al azar a los grupos ni se emparejaron, existiendo al menos una variable independiente que se utiliza para observar la relación y el efecto con la variable dependiente (Hernández et al., 2006).

Alcance de la investigación

Este estudio es de carácter exploratorio, ya que permite mostrar con precisión los ángulos de un fenómeno relativamente desconocido y obtener información al respecto; así como también analizarlo desde una perspectiva más amplia (Hernández et al, 2014).

Del mismo modo, este estudio es de carácter descriptivo porque busca especificar propiedades, características y los perfiles de personas relacionadas con el fenómeno que se somete a análisis (Hernández et al., 2014). En concreto, este seminario busca evaluar la apropiación de conceptos de biología molecular, a través de la identificación de concepciones alternativas, en los estudiantes de tercer año medio del plan de formación diferenciado Humanista Científico, de la ciudad de Los Ángeles y Mulchén, utilizando para ello la Historia de la Ciencia como un elemento curricular, una estrategia de enseñanza y un recurso de aprendizaje.

Población

La población a considerar para la presente investigación corresponde a los alumnos de enseñanza media de los establecimientos educacionales de enseñanza Científico Humanista de la ciudad de Los Ángeles y de la ciudad de Mulchén, Región del Bío-Bío.

Muestra

La muestra seleccionada para esta investigación, corresponde a estudiantes de tercer año medio pertenecientes a tres establecimientos de enseñanza Científico Humanista:

- Liceo Municipal Bicentenario A-59 de la ciudad Los Ángeles
- Liceo Municipal Miguel Ángel Cerda Leiva de la ciudad de Mulchén
- Colegio particular subvencionado San Rafael Arcángel, de la ciudad de Los Ángeles

El muestreo realizado es de tipo no probabilístico o dirigido (Hernández et al, 2014), ya que no es imprescindible que la muestra sea estadísticamente representativa de la población, contemplando como punto de comparación la aplicación del Pre-Test con la aplicación de un Post-Test. Para el análisis de la muestra se seleccionaron solamente aquellos estudiantes que rindieron el Pre-Test y Post-Test, por lo que finalmente el total de alumnos y alumnas a analizar como muestra total fue de 25 estudiantes.

Unidad de análisis

La unidad de información comprende a los estudiantes de tercer año de enseñanza media del plan de formación Científico-Humanista de tres establecimientos educacionales de la ciudad de Los Ángeles y Mulchén, cuyo tipo de dependencia es: Municipal y Particular subvencionado. La unidad de análisis estudiada fué la apropiación de conceptos en torno a la Biología molecular, a través de la identificación de concepciones alternativas, en los estudiantes de tercer año medio de los tres establecimientos educacionales.

VARIABLES DE ESTUDIO

La variable dependiente correspondiente a la apropiación de conceptos de Biología molecular, a través de la identificación de concepciones alternativas, que presentan los estudiantes, antes y después de aplicar la intervención didáctica, que consiste en la narración de una línea de tiempo.

Por otra parte, la variable independiente, corresponde a la incorporación de la HOS a través de la elaboración de una línea de tiempo narrada.

Elaboración de la estrategia didáctica:

Selección de los principales hitos para dar cumplimiento al objetivo 1:

- *“Identificar los hitos que han contribuido al desarrollo del conocimiento de la Biología molecular.”*

Para elaborar la línea de tiempo se tomó como directriz el primer capítulo del libro “Biología molecular Fundamentos y aplicaciones en la ciencia de la salud” (2016) el cual permitió escoger y ordenar los distintos hitos de la disciplina. Luego de revisar los recursos y actividades propuestos en el programa de Biología celular y molecular para tercer año medio (Anexo 5), se seleccionaron solo aquellos hechos concordantes con lo que dispuesto por el MINEDUC. Tales hitos se complementaron con artículos científicos, documentales y libros para darle mayor solidez a la estrategia didáctica (Anexo 4), obtenidos a partir de una revisión bibliográfica en las bases de datos de la Biblioteca de la Universidad de Concepción y en Google Académico.

Elaboración de la línea de tiempo para dar cumplimiento al objetivo 2:

- *“Integrar los principales hitos en una línea de tiempo narrada como recurso de aprendizaje durante el proceso de intervención didáctica.”*

Una vez seleccionados los hitos, se llevó a cabo el proceso de transposición didáctica, para lo cual se revisó de manera exhaustiva el programa de estudios de Biología celular y molecular para tercer año medio, donde se proponen algunas actividades, tales como la elaboración de una línea de tiempo y de una infografía, con el propósito de incorporar la historia de la Biología molecular (Anexo 5). Posteriormente se llevó a cabo la elaboración de la línea de tiempo (Anexo 1) utilizando para ello la herramienta online Genially (<https://genial.ly/es/>) que permite crear contenidos interactivos y animados.

Genially es una plataforma de acceso gratuito, que facilita el uso de múltiples colores, figuras, letras, esquemas, imágenes y efectos en cada una de las páginas que se construyen, lo que estimula aún más su aprendizaje. Como se confeccionó una línea del tiempo narrada, se diseñó un guión con la narrativa de la historia simultánea a la revisión de los hitos

desarrollados en las diferentes ventanas o viñetas. Lo anterior facilitó la revisión y corrección de la línea de tiempo.

Elaboración del Instrumento de evaluación y análisis de datos para dar cumplimiento a los objetivos 3 y 4, respectivamente:

• *Analizar si hay o no diferencia en la apropiación de conceptos de biología molecular, a través de la identificación de concepciones alternativas, en los estudiantes de III° año medio, en relación a la utilización de la Historia de la ciencia (HOS) como elemento curricular, estrategia didáctica de enseñanza y recurso de aprendizaje.*

• *Evaluar la capacidad de pensamiento temporal y espacial de los estudiantes de tercer año medio, a partir de la ordenación cronológica de los hitos presentados en la línea de tiempo narrada.*

Con posterioridad a la confección de la estrategia didáctica “línea de tiempo narrada” la cual expone los principales hitos de la biología molecular, se procedió a confeccionar el instrumentos de recolección de datos (Anexo 2), para lo cual se llevó a cabo una revisión bibliográfica de diferentes artículos (Tabla 1).

Tabla 1. Artículos consultados para la elaboración del instrumento de evaluación

Artículo	Autor, año
Estudio exploratorio sobre preconcepciones en el área de Genética en alumnos de Secundaria italianos y españoles.	Argento, 2003
Aproximación a las concepciones sobre ADN y ARN de estudiantes del grado noveno de la institución educativa escuela normal superior de Neiva-Huila.	Bastidas y Oliveros, 2018
Caracterización de ideas previas del concepto de ADN por medio de mapas conceptuales en estudiantes de grado octavo.	Ribón y Ramos, 2019

Concepciones alternativas de genética básica y división celular en estudiantes de secundaria.	Azeglio et al., 2015
La historia en la enseñanza del ADN: Una propuesta para generar un cambio de visión de ciencia en la escuela.	Cortez et al., 2016.

Se diseñó un instrumento de evaluación que consistió en un cuestionario con escala tipo Likert, en el que se exponían afirmaciones tanto de detección de conceptos y concepciones alternativas sobre Biología molecular. El instrumentos quedó conformado por los siguientes ítems:

- **Caracterización de la muestra:** Consistió en diferentes preguntas para conocer el nombre, sexo, establecimiento, curso, y si les interesaba a los estudiantes conocer los principales hitos en torno a la Biología molecular, con el propósito de caracterizar la muestra a estudiar.

- **Concepciones alternativas (escala tipo Likert):** Comprendido por 24 afirmaciones en torno a los principales conceptos relacionados con los hitos de la historia de la Biología Molecular, cuyas respuestas posibles son: de acuerdo, en desacuerdo, y no lo sé. El instrumento fue aplicado antes de la intervención que consistió en la narración de la línea de tiempo (Pre test) y luego de ella (Post-test).

- **Ordenación cronológica de los hitos:** Comprendió una pregunta de ordenación cronológica de siete hitos asociados al surgimiento y desarrollo de la Biología Molecular que los estudiantes tuvieron que ordenar desde el más antiguo al más reciente, con el objetivo de describir a la muestra en relación a su habilidad de pensamiento temporal y espacial, y que abarcó los siguientes siete hitos:

- 1) Leyes de la herencia
- 2) Teoría cromosómica
- 3) Descubrimiento del principio transformante (ADN)

- 4) Principio de complementariedad de los pares de bases nitrogenadas
- 5) Descubrimiento de la estructura del ADN
- 6) Descubrimiento del código genético
- 7) Secuenciación del genoma humano

Dada la contingencia sanitaria, el instrumento fue elaborado en un formulario de Google, puesto que permite acceder a través de un link y a la vez tener un análisis preliminar de los datos de manera casi instantánea.

Validación del instrumento y pilotaje

El instrumento fue sometido a revisión y validado por un tribunal de expertos, compuesto por dos docentes del Campus Los Ángeles, Escuela de Educación, quienes aportaron correcciones en torno a los ítems antes señalados, basándose en los criterios de relevancia y claridad frente a cada afirmación, para replantearse el sentido, ambigüedad o errores en la redacción de las afirmaciones (Anexo 3). Posteriormente el test se aplicó a modo de Pilotaje a nueve estudiantes del plan de formación diferenciado humanista-científico del Colegio San Rafael Arcángel de la comuna de Los Ángeles.

Las intervenciones llevadas a cabo, se realizaron en dos momentos, y tuvieron una duración máxima de una hora cada una:

La primera intervención, donde se aplicó el Pre-Test (de manera previa a la exposición de la línea de tiempo), tuvo una duración de 20 minutos. La línea de tiempo narrada se presentó y discutió durante 30 minutos, aproximadamente.

En la segunda intervención durante los 30 minutos iniciales, se terminaron de revisar y discutir los últimos hitos de la narración en torno al descubrimiento, estructura y funcionamiento de la molécula de ADN. Los 20 minutos restantes de la intervención se utilizaron para aplicar el Post-Test (idéntico al Pre-Test).

Cabe señalar que todas las intervenciones fueron realizadas principalmente vía trabajo telemático y en menor grado de manera presencial. Igualmente, a todos los participantes se les compartió el enlace con la línea de tiempo para que exploraran su contenido cuantas veces fuera necesario durante una semana.

Análisis de datos

Fiabilidad del instrumento: A partir de los datos del pilotaje se aplicó el índice Alfa de Cronbach que permite medir la confiabilidad del instrumento elaborado. El estadístico cubre valores con un rango que va de 0.1 – 1.0, siendo un Alfa = 1.0 el mayor valor teórico, pero en general un valor de 0.80 se considera altamente aceptable (García et al., 2010).

Caracterización de la muestra: Los datos de la primera parte del instrumento (procedencia de los datos e interés de los estudiantes por la biología molecular) se ordenaron a través de porcentajes, de acuerdo al número de estudiantes por establecimientos estudiados.

Concepciones alternativas: El análisis de estos resultados consideró estadística descriptiva a través de los gráficos de las frecuencias de aparición o frecuencia de conteo (las veces que una categoría fue respondida respecto del total de respuestas dadas) para las alternativas “De acuerdo”, “En desacuerdo” y “No lo sé” de cada pregunta. Adicionalmente, para validar estadísticamente las diferencias evidenciadas de manera descriptiva, se realizó el Test exacto de Fischer, puesto que permite analizar si dos variables dicotómicas están asociadas, cuando la muestra a estudiar es demasiado pequeña ($n < 30$) y no se cumplen las condiciones necesarias para la aplicación del test chi cuadrado (Freund y Simón, 1992; Pértega y Pita, 2004). El valor de p , indica la probabilidad de obtener una diferencia mayor o igual a la observada entre los grupos, bajo la hipótesis nula de independencia. Si esta probabilidad es pequeña ($p\text{-value} < 0.05$) se debe rechazar la hipótesis de partida y deberemos asumir que las dos variables no son independientes, sino que están asociadas y se acepta la

hipótesis alternativa (Pértega y Pita, 2004). En caso contrario, se dirá que no existe evidencia estadística de asociación entre ambas variables (se aceptará la hipótesis nula). En ese contexto, en el presente estudio se puso a prueba la siguiente hipótesis (con un $p\text{-value} < 0.05$): No existen diferencias en el nivel de apropiación de conceptos en torno a la Biología molecular entre el Pre-Test y Post-Test luego de la aplicación de la estrategia didáctica (línea del tiempo narrada).

Ordenación cronológica: El análisis de estos resultados consideró sólo estadística descriptiva a través de los porcentajes expresados en graficas. Allí se muestra porcentualmente aquellos hitos que fueron posicionados cronológicamente de manera correcta según lo expuesto en la línea de tiempo narrada. Idealmente se buscaba que todos los hitos fueran ordenados desde el más antiguo al más nuevo, sin embargo, se privilegió evaluar aquellos hitos posicionados correctamente más que evaluar que todos estuviesen ordenados. Por medio de este ítem se buscó evaluar la capacidad de pensamiento temporal y espacial de los estudiantes en torno a los hitos narrados en la línea de tiempo.

Todos los análisis, tanto descriptivos como probabilísticos, fueron realizados usando el software libre PAST 3.14 (Hammer et al., 2001).

Resultados

Los resultados obtenidos a partir de la aplicación de los diferentes instrumentos de recolección de datos serán expuestos en relación a los objetivos específicos planteados.

Objetivo 1: *Identificar los hitos que han contribuido al desarrollo del conocimiento de la Biología molecular.*

Como resultado de la revisión bibliográfica, se procedió a circunscribir los hitos, dentro de tres grandes épocas: los pioneros de la disciplina, la época de oro y la edad moderna de la Biología molecular, los cuales se describen a continuación:

Pioneros de la Biología Molecular (1859-1888):

- Teoría evolutiva de Charles Darwin y Alfred Russel Wallace propuesta en 1859
- Leyes de la herencia propuestas por Gregor Mendel (1865)
- Friedrich Miescher descubre la nucleína (1868)
- Se observa la cromatina y se acuña el término de cromosomas por Walter Flemming (1879)
- Albrecht Kossel determina la composición química de la nucleína de Miescher (1888)

Época de oro de la Biología molecular (1902-1944):

- Teoría cromosómica de Sutton y Boveri (1902)
- El año 1915 Thomas Hunt Morgan y sus estudiantes comprueban la teoría cromosómica y plantean que cada gen reside en un cromosoma, así como también la existencia de cromosomas ligados al sexo por medio del estudio de *Drosophila Melanogaster*
- Frederick Griffith descubre el principio transformante en 1928

- En 1929 Phebus Levene sintetiza ácidos nucleicos, distinguiendo las bases nitrogenadas y el glúcido del ADN y ARN.
- El año 1938 William Atsbury y Florence Bell proponen que las bases nitrogenadas se disponen de manera perpendicular al eje de la molécula de ADN, gracias a sus imágenes de cristalografía con rayos X
- En 1944 Oswald Avery, Colin Macleod y Maclyn McCarty comprueban que el principio transformante no son las proteínas ni los polisacáridos, como se creía hasta entonces.

Era moderna de la Biología molecular (1949-2021)

- El año 1949 Alexander Robertus Todd consigue sintetizar de manera controlada nucleótidos que funcionan como coenzimas y son los componentes básicos de los ácidos nucleicos. Todd también sintetizó trifosfato de adenosina (1949).
- En 1950 Erwin Chargaff propone el principio de complementariedad de las bases nitrogenadas para todas las especies.
- En 1951 Rosalind Franklin obtiene la fotografía 51 y logró diferenciar dos formas del ADN a las que llamó Alfa y Beta.
- Alfred Hershey y Martha Chase en 1952 experimentan con bacteriófagos y demuestran de manera irrefutable que el ADN era la molécula portadora de la información genética, la base material de la herencia.
- En 1953 Watson y Crick publican el modelo tridimensional de la molécula de ADN, conformada por dos hélices antiparalelas, cuya parte externa correspondía a los grupos fosfato unidos mediante enlaces fosfodiéster a la ribosa. En la parte interna se disponían las bases nitrogenadas unidas por dos y tres puentes de hidrógeno entre las bases A-T y G-C, respectivamente.
- En 1955 Francis Crick plantea el dogma central de la Biología molecular, así como también la idea de que el código genético se lee en tripletes.
- En 1958, Mathew Stanley Meselson y Franklin Stahl confirmaron la replicación semiconservadora propuesta por Crick.

- En 1970, Hamilton Smith, Daniel Nathans, Werner Arber aíslan la primera enzima de restricción Hind II, a partir de *Haemophilus influenzae*.
- En 1970 Howard Martin Temin y David Baltimore descubrieron una nueva enzima denominada transcriptasa inversa o retrotranscriptasa, con función de ADN polimerasa dependiente de ARN.
- Kari Mullis descubre la reacción en cadena de la polimerasa el año 1985.
- El año 1989 se lleva a cabo el primer tratamiento con terapia génica en humanos de manera exitosa.
- El año 1990 se da inicio al Proyecto genoma humano con la finalidad de determinar la secuencia de pares de bases que componen el DNA e identificar todos los genes del genoma humano, desde un punto de vista físico y funcional.
- El año 1993 Francisco Mujica describe las secuencias repetidas CRISPR en Arqueas y su papel en los mecanismos de inmunidad de las células procariotas.
- El año 1997 en Escocia se clona exitosamente al primer mamífero: La oveja Dolly.
- En abril del año 2003 se publica la secuencia completa del genoma humano, que concluye que el genoma está constituido por 3.200 millones de pares de bases, así como también que existen de 20.000 a 25.000 genes codificantes.
- El año 2008, científicos del campus Chillán de la Universidad de Concepción, logran clonar a Lola, una vaca Wagyu.
- El año 2012 Emmanuelle Charpentier y Jennifer A. Doudna publican su trabajo, mediante el cual describen las tijeras de restricción CRISPR-Cas 9.
- El año 2020 se elaboran y desarrollan diferentes vacunas contra el SARS-Cov2, siendo las principales: Pfizer, compuesta por un ARNm modificado con nucleósidos (modRNA), Coronavac, compuesta por virus inactivado, derivada de la cepa CZ02 de coronavirus; y Astrazeneca, compuesta por vector viral un adenovirus de chimpancé no replicante que contiene la estructura completa de la glicoproteína de superficie (S).

Objetivo 2: *Integrar los principales hitos en una línea de tiempo narrada como recurso de aprendizaje durante el proceso de intervención didáctica.*

Genially es una plataforma de acceso gratuito, que facilita el uso de múltiples colores, figuras, letras, esquemas, imágenes y efectos en cada una de las páginas que se construyen, lo que estimula aún más su aprendizaje. Como se confeccionó una línea del tiempo narrada, se diseñó un guión con la narrativa de la historia simultánea a la revisión de los hitos desarrollados en las diferentes ventanas o viñetas. Lo anterior facilitó la revisión y corrección de la línea de tiempo.

La narración se registró en la línea de tiempo a través del proceso de grabación del guión en audios breves, que no excedieran los dos minutos de duración. La línea de tiempo fue compartida con los docentes y estudiantes, para que pudiera ser revisada y analizada cuantas veces fuera necesario, a través del siguiente enlace: <https://view.genial.ly/5e95c76fe948540e05f69719/interactive-content-linea-de-tiempo>. La representación gráfica de esta (sin efectos de animación ni sonidos) se muestra a través de capturas de pantalla en los anexos (Anexo 1, Figura A1).

Objetivo 3: *Analizar si hay o no diferencia en la apropiación de conceptos de biología molecular, a través de la identificación de concepciones alternativas, en los estudiantes de III° año medio, en relación a la utilización de la Historia de la ciencia (HOS) como elemento curricular, estrategia didáctica de enseñanza y recurso de aprendizaje.*

Objetivo 4: *Evaluar la capacidad de pensamiento temporal y espacial de los estudiantes de tercer año medio, a partir de la ordenación cronológica de los hitos presentados en la línea de tiempo narrada.*

Fiabilidad del instrumento:

El coeficiente Alfa de Cronbach calculado para el Pre-Test de la muestra de pilotaje, realizado a 9 estudiantes de 3° Medio del Colegio San Rafael Arcángel, Los Ángeles, fue de 0.87 (Tabla 1), siendo según los parámetros (0.0 – 1.0) altamente confiable. En consecuencia,

lo anterior permite dar validez al test elaborado y, por lo tanto, aplicarlo a la muestra considerada en este estudio.

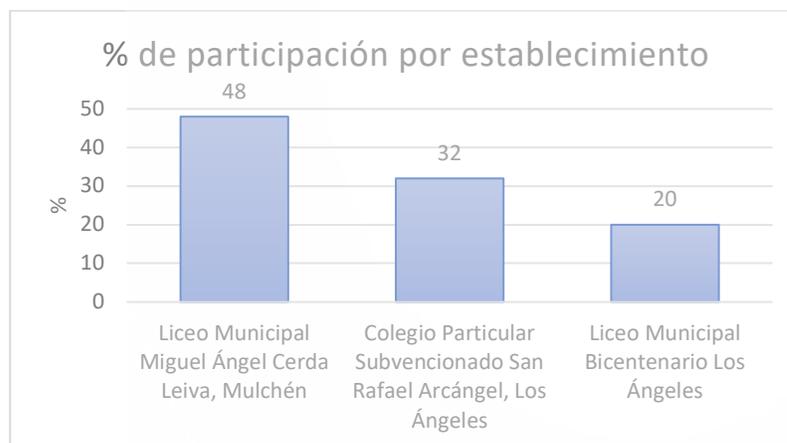
Tabla 2. Valores de entrada y resultado del Coeficiente Alfa de Cronbach

Prueba Piloto Pre-Test	Valores
K (Nº de ítems)	24.0
Vi= Varianza de cada ítem	24.1
Varianza total	152.0
A= Alfa	0.87

Caracterización de la muestra:

El instrumento se aplicó de manera voluntaria a los 25 estudiantes de tercer año de enseñanza media que aceptaron participar en este estudio. Estos estudiantes pertenecen a los siguientes establecimientos: ocho alumnos del Colegio Particular subvencionado San Rafael Arcángel de la ciudad de Los Ángeles; cinco estudiantes del Liceo Municipal Bicentenario A-59 de la ciudad de Los Ángeles, y 12 estudiantes del Liceo Municipal Miguel Ángel Cerda Leiva de Mulchén en la comuna de Mulchén (Gráfico 1). Los valores de estudiantes que participaron por establecimientos se presentan como porcentajes en la figura 1.

Figura 1. Porcentaje (%) de estudiantes que participaron de este estudio segregados según el establecimiento al que pertenecen.



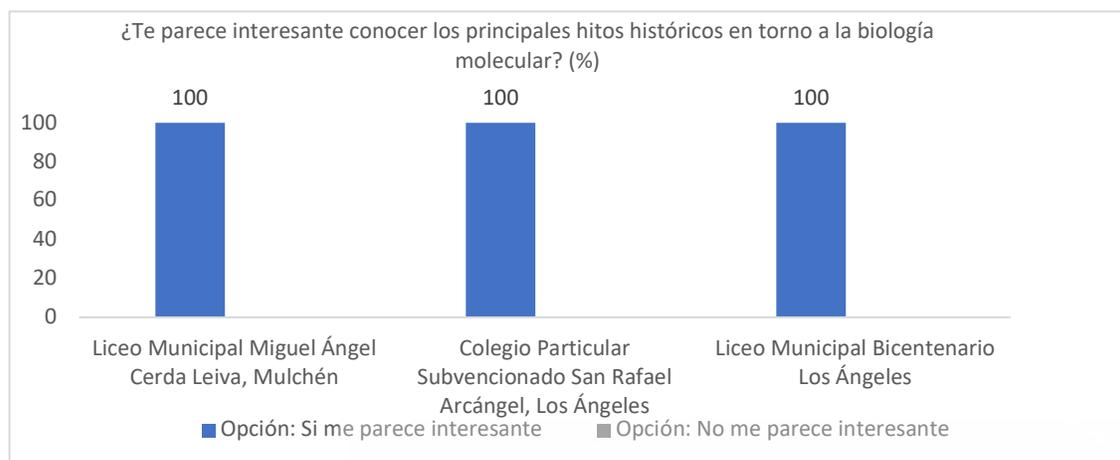
Interés por conocer la Historia de la Biología Molecular antes y después de la intervención didáctica.

De manera preliminar a la intervención realizada, los resultados del Pre-Test muestran que la mayoría de los estudiantes de los tres establecimientos consideran interesante conocer los hitos asociados a la Historia de la Biología molecular (Figura 2) y en el Post-Test estos porcentajes se vieron levemente incrementados, reafirmando el interés por esta disciplina (Figura 3).

Figura 2. Porcentaje (%) de interés por conocer los hitos relacionados a la Biología molecular antes de la intervención didáctica (Pre-Test).



Figura 3. Porcentaje (%) de interés por conocer los hitos relacionados a la Biología molecular después de la intervención didáctica (Post-Test).



Concepciones alternativas (escala tipo Likert):

El resultado global muestra que para las concepciones alternativas los estudiantes en su gran mayoría seleccionaron la opción “De acuerdo” (Figura 4). En más detalle es posible evidenciar que de las preguntas 1 a la 16, 18 y 19 y de la 21 a la 24, hubo un incremento en el porcentaje de respuestas “De acuerdo” en el Post-Test. En cuanto a la opción de respuestas “En desacuerdo” en el Post-Test, se evidenció una disminución en dicho porcentaje en las preguntas 1 a la 8; 14 a la 16; 18 y 19; y finalmente de la pregunta 21 a la 24 (Figura 4). Sin embargo, para 21 de las 25 preguntas aplicadas, el análisis exacto de Fisher no arrojó diferencias estadísticamente significativas en el Pre-Test y Post-Test, ($p > 0.05$), es decir, los estudiantes no logran una apropiación de todos los conceptos asociados a la Biología molecular evaluados en el Pre-Test y Post-Test, y solo lo hacen para un número muy reducido ($n=4$) de las preguntas formuladas, las cuales están asociadas a los conceptos de nucleótido, ARN y mutación ($p < 0.05$).

En ese contexto, los cambios en las frecuencias “De acuerdo” “En desacuerdo” y “No lo sé” entre el Pre y del Post-Test muestran diferencias significativas luego de la aplicación de la estrategia didáctica para las preguntas 11 ($p = 0.028$): “Los nucleótidos se unen por enlaces fosfodiéster” que buscó detectar concepciones alternativas en torno a la estructura molecular de los nucleótidos (unidades básicas de los ácidos nucleicos), la pregunta 21

($p=0.019$): “Las mutaciones deben afectar a las células sexuales, para que los cambios afecten a las siguientes generaciones”, que indagó el concepto de mutación, y a distinguir si las células sexuales y las células somáticas presentan ADN y pueden sufrir mutaciones heredables; la pregunta 22 ($p = 0.006$): “El ARN es otro tipo de ácido nucleico”, se apunta a detectar si los alumnos logran dilucidar que el ARN también es un ácido nucleico, que participa en los procesos de replicación, transcripción y traducción y en la pregunta 24 ($p = 0.000$): “En el experimento de Griffith, el cambio de las bacterias no virulentas a virulentas.



Figura 4. Frecuencias de respuestas “De acuerdo”, “En desacuerdo” y “No lo sé” del ítem de concepciones alternativas del Pre y Post-Test aplicadas a 25 estudiantes de tercero medio pertenecientes a tres establecimientos Científico-Humanista de las Comunas de Los Ángeles y Mulchén.

Frecuencia de respuestas "De acuerdo", "En desacuerdo" y "No lo sé"

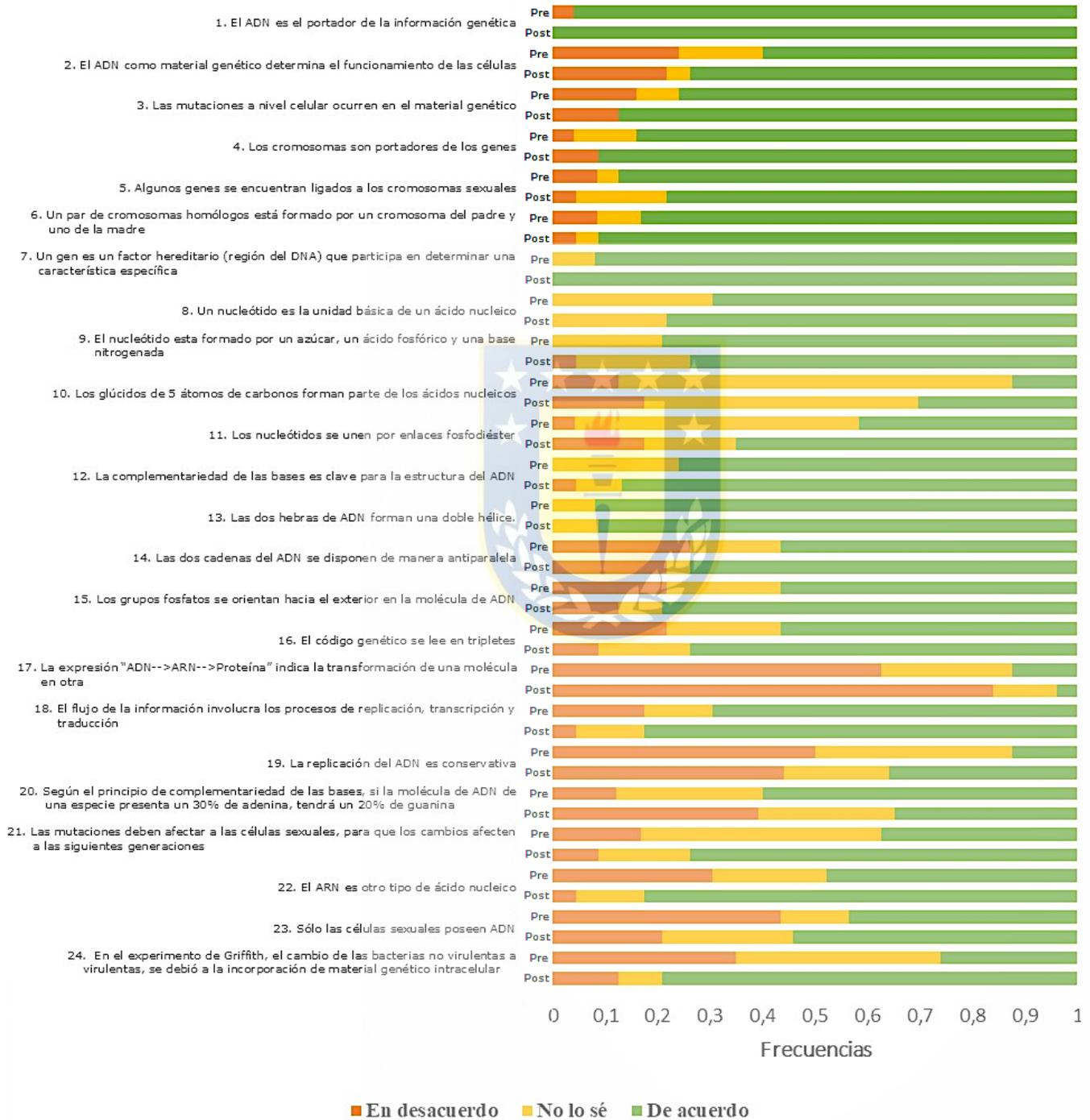
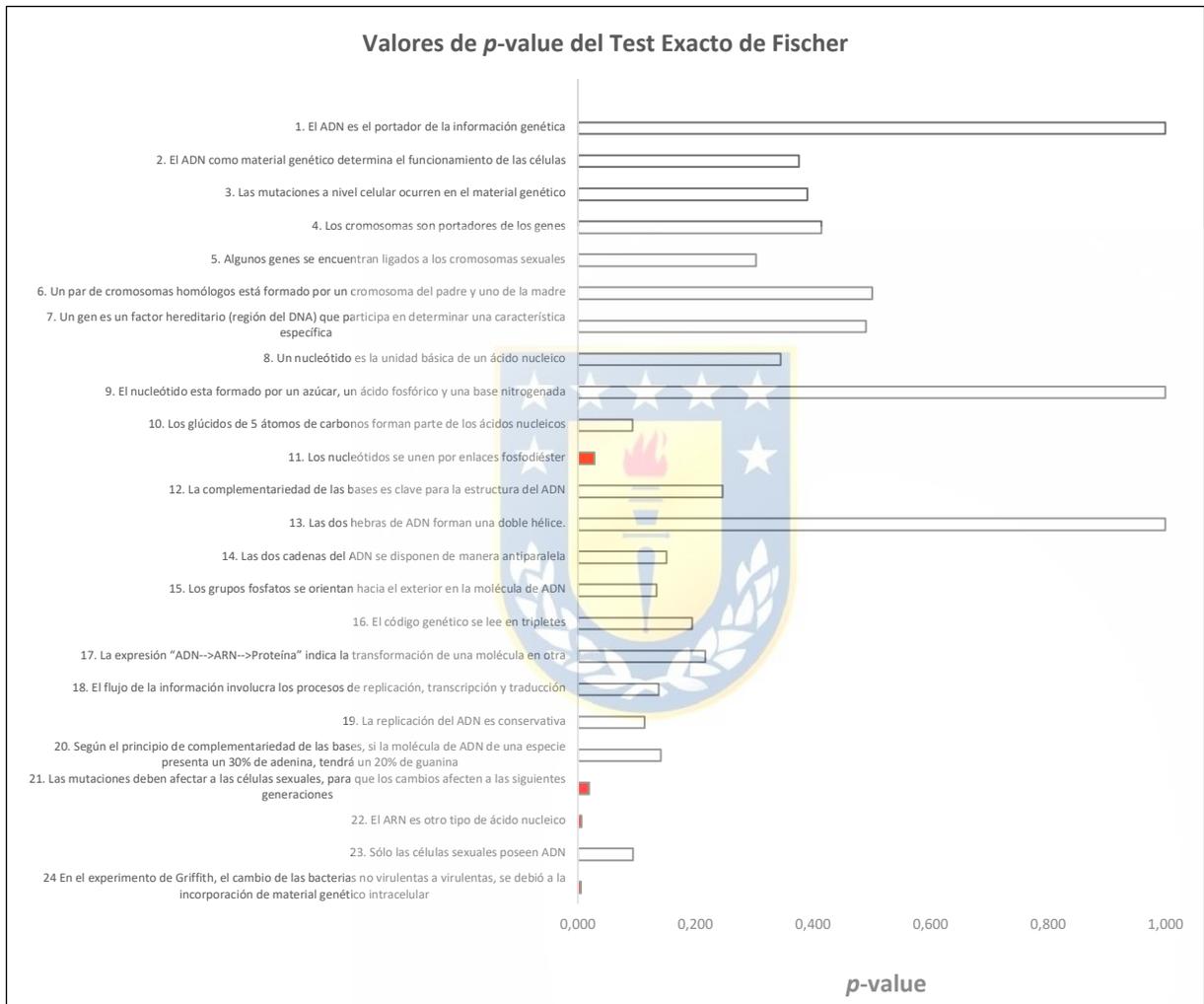


Figura 5. Valores de *p*-value del test exacto de Fisher para 24 preguntas sobre Biología Molecular aplicadas a 25 estudiantes de tercer año medio de tres establecimientos Científico-Humanista de las Comunas de Los Ángeles y Mulchén. En rojo se representan los valores estadísticamente significativos (*p*-value < 0.05)



Ordenación cronológica de los hitos:

Los resultados evidencian que de manera previa y posterior a la presentación de la línea de tiempo narrada, los estudiantes no ordenaron de manera correcta los hitos desde el más antiguo al más reciente, es decir, no presentaron cambios significativos que den cuenta de mejoras en la habilidad del pensamiento temporal y espacial en torno a los hitos narrados en la línea de tiempo. Un análisis detallado de los datos para el Pre-Test muestra que solo el hito: “Secuenciación del genoma humano” es reconocido como un evento reciente ya que, para el contexto general de los siete hitos considerados, cubre sobre 20.0% de asignación correcta por los estudiantes (Figura 6). En general menos del 50% de los estudiantes logra responder de manera correcta esta pregunta.

Los resultados obtenidos de manera posterior a la aplicación de la estrategia didáctica, no difieren en gran medida respecto del Pre-Test. En el Post-Test se muestra que el primer hito “Leyes de la herencia” presenta un incremento desde 4.0% (obtenido en el Pre-Test) a un 25.0% obtenido en el Post-Test. En otras palabras, hay un aumento del porcentaje de estudiantes que reconocen este hito al inicio de la Historia de la Biología molecular.

En cuanto al tercer hito “Descubrimiento del principio transformante (ADN)” y el séptimo hito “Secuenciación del genoma humano”, también agrupan altos valores en los porcentajes de respuestas acertadas. Finalmente, para el quinto hito “Descubrimiento de la estructura del ADN”, si bien el porcentaje de alumnos del colegio San Rafael Arcángel se mantuvo en un 4.0% antes y después de la intervención; el Liceo Municipal de Mulchén incrementó desde un 8.0% a un 16,7% de estudiantes que reconocen este hito en quinto lugar de manera correcta, y en el Liceo Bicentenario, aumentó de 0.0% a un 5.0% por ciento el porcentaje de respuestas correctas luego de la aplicación de la línea de tiempo narrada.

Figura 6: Porcentaje de respuestas acertadas del Pre-Test en la ordenación cronológica de 7 hitos asociados al surgimiento y desarrollo de la Biología Molecular.

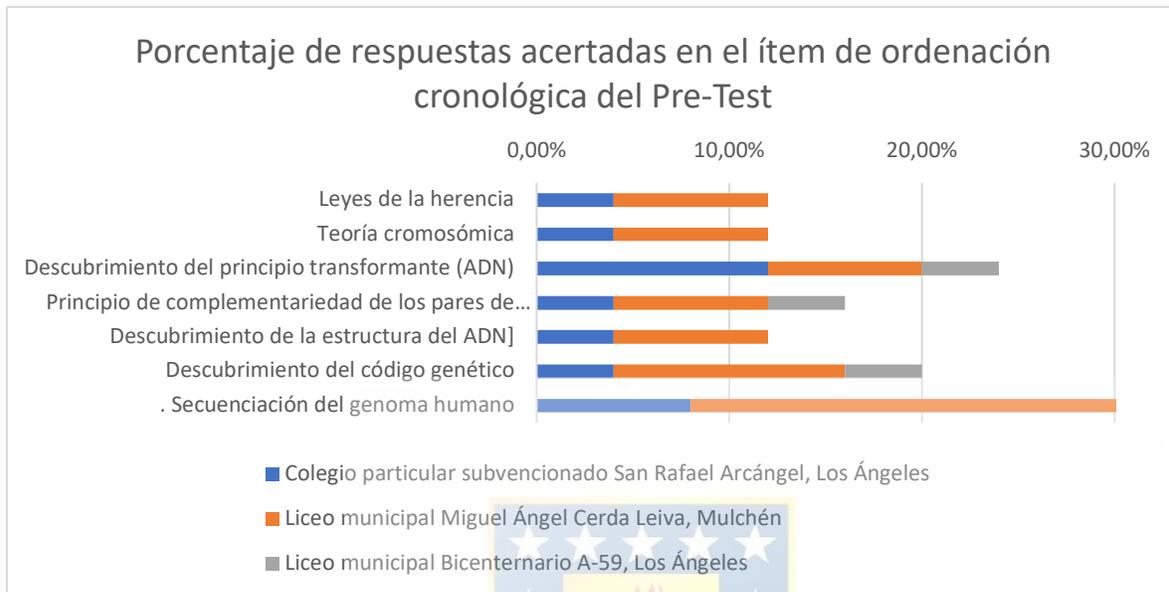
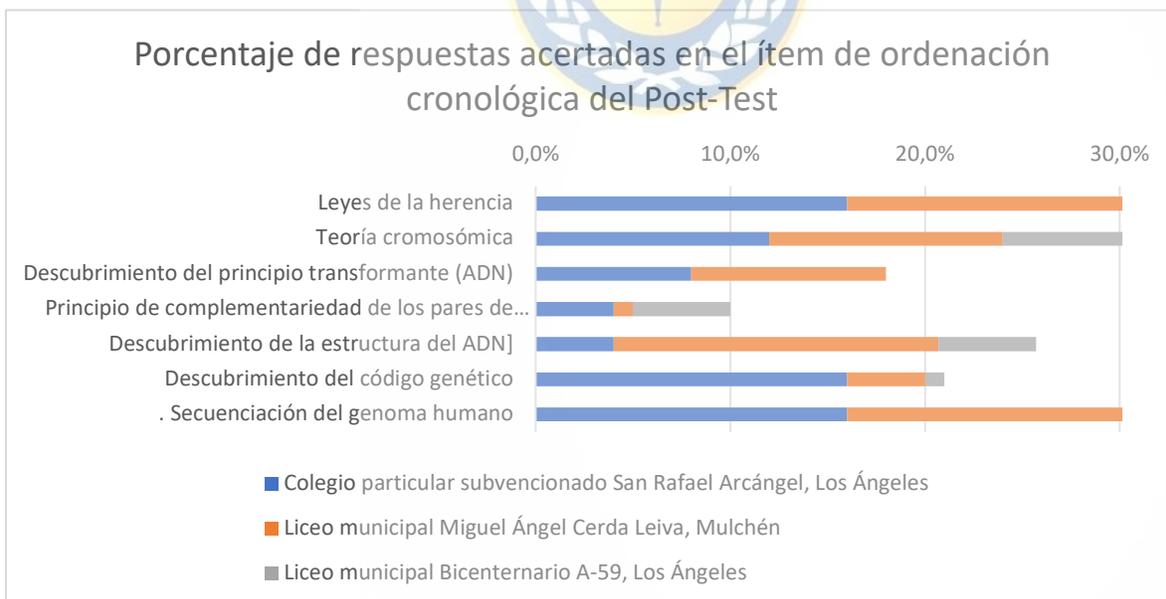


Figura 7: Porcentaje de respuestas acertadas del Post-Test para la ordenación cronológica de 7 hitos asociados al surgimiento y desarrollo de la Biología.



Discusión

En los tres establecimientos analizados en esta investigación, se observó un alto porcentaje de estudiantes que manifiestan interés por conocer los principales hitos en torno a la Biología Molecular (Figuras 2 y 3). Según Gellon et al., (2005) “biografías, libros de historia e incluso obras de teatro y películas también pueden contribuir a ilustrar los vaivenes del trabajo científico y constituyen valiosos recursos para recorrer con los estudiantes historias de investigadores y sentirse más cerca de la realidad del trabajo científico”. De acuerdo a lo planteado por Wilson (2002), entomólogo y divulgador de la ciencia, “el poder de las historias en la enseñanza reside en la capacidad innata de los seres humanos de entender, disfrutar y recordar las narraciones”.

En relación con el ítem de concepciones alternativas, a partir de los resultados anteriormente analizados, no fue posible evidenciar diferencias estadísticamente significativas en la mayoría de las 24 afirmaciones, a excepción de los resultados obtenidos en la pregunta 11 donde se evidenció la apropiación del concepto de nucleótido luego de la intervención realizada. Diversos autores afirman que “es necesario introducir en el aula estrategias didácticas distintas a las tradicionales, en particular para la enseñanza de algunos conceptos biológicos que tienen un alto nivel de abstracción; ejemplo de ello es la estructura del ADN” (Sáiz Serrano, 2013; Betancur, 2008). Igualmente, en la pregunta 21 que afirma que “las mutaciones deben afectar a las células sexuales, para que los cambios afecten a las siguientes generaciones” (Figura 4 y Figura 5), se registró que antes de la intervención didáctica, los resultados obtenidos en el Pre-Test siguieron el mismo lineamiento que los resultados de Bastidas y Oliveros (2018), quienes evidencian el alto grado de dificultad que presentan los estudiantes a la hora de reconocer que todas las células presentan ADN, y que son las mutaciones de las células germinales las que se heredan a las siguientes generaciones. Los resultados del Pre-Test, también coinciden con los obtenidos por Argento (2013), quien concluyó que la mayor parte de los alumnos consideran que la información hereditaria se encuentra sólo en las células sexuales. No obstante, los datos para el Post-Test arrojaron un considerable aumento en la opción “De acuerdo”; lo que implica que los alumnos

comprendieron que sólo las mutaciones en los gametos o células sexuales se transmiten a las siguientes generaciones; y en última instancia, que la aplicación de la línea de tiempo narrada fue efectiva, puesto que de acuerdo a los valores obtenidos en el análisis estadístico, se destaca la apropiación de los conceptos de “mutación, gameto, alelo y teoría cromosómica de la herencia” a través de personajes e hitos a lo largo de la Historia de la Biología molecular.

Respecto de la afirmación 22 (“El ARN es otro tipo de ácido nucleico”), que apuntó a detectar si los alumnos logran dilucidar que el ARN también es un ácido nucleico y que participa en los procesos de replicación, transcripción y traducción, los resultados del Pre-Test coinciden con los analizados por Bastidas y Oliveros (2018), ya que los estudiantes presentaban vagas nociones acerca del ARN. Sin embargo, luego de la intervención aplicada fue posible evidenciar una apropiación en torno al concepto de ARN, al reconocer que esta molécula es otro tipo de ácido nucleico (Figura 4 y Figura 5). Uno de los resultados que vale la pena destacar fue el obtenido en la pregunta 24 que afirma que “en el experimento de Griffith, el cambio de las bacterias no virulentas a virulentas se debió a la incorporación de material genético intracelular”. En esta pregunta hubo un retroceso, puesto que el cambio de las bacterias no virulentas a virulentas se debió a la incorporación de ADN “extracelular” y no intracelular. Como hubo un incremento de estudiantes que seleccionó la opción “De acuerdo”, es posible inferir que un gran porcentaje de ellos comprendió en qué consistió el experimento de Griffith y el principio transformante. No obstante, tal vez el retroceso se deba a la redacción de la pregunta, y a la utilización del término “intracelular”

Un aspecto de vital importancia según Cofré (2010), consiste en preocuparse de las ideas de los estudiantes para la planificación de una clase, desde el punto de vista de la Didáctica de la Biología lo cual es compartido por Azeglio (2015), quien afirma que el estudio y análisis de las concepciones alternativas del alumnado están siendo cada vez más tenidas en cuenta como punto de partida de las investigaciones en Didáctica de las Ciencias, puesto que comprender que el conocimiento es una construcción que comienza con las ideas pre existentes de los alumnos sobre un tema determinado, que al encontrarse con los conceptos científicos, genera la posibilidad de un conflicto cognitivo y como consecuencia, el logro de un aprendizaje significativo.

De acuerdo a lo planteado por algunos autores tales como Martínez y colaboradores en el año 2001, “frecuentemente se plantean visiones del conocimiento científico como superior, objetivo, neutral y descontextualizado” por parte de los docentes a los alumnos, sin incorporar una visión holística de la ciencia. Algunos autores afirman que la introducción de la historia de las ciencias en la enseñanza de la estructura del ADN es una estrategia que no solo favorece y minimiza la fractura conceptual para la comprensión de la herencia a nivel macroscópico y microscópico, sino que posibilita “el análisis de los protagonistas y situaciones de carácter social, político y económico determinantes en el momento de la deducción de la estructura del ADN” (Cortez et al., 2016); lo que en última instancia permite comprender la importancia de un aporte científico que, más allá de ser la descripción de una estructura molecular, proporciona la información para comprender las bases de la herencia y transmisión de las características hereditarias, posibilitando el surgimiento de disciplinas científicas como la genética molecular, la biología molecular y la biotecnología.

Sin perjuicio de que se le otorga un papel crucial a la Historia de la Ciencia, los autores también reconocen que “el uso de apartados y reseñas históricas no suele ser muy recurrente en la enseñanza de las ciencias naturales debido a la complejidad y exigencia para la búsqueda de fuentes primarias (Cortez et al., 2016); lo cual guarda relación con los resultados obtenidos en la ordenación cronológica del Test aplicado a los estudiantes, quienes obtuvieron un porcentaje de respuestas acertadas muy bajas y presentaron muchas dificultades para ordenar de manera cronológica siete hitos relacionados a la historia de la Biología molecular. En consecuencia, no es posible evidenciar un progreso en la capacidad de pensamiento temporal y espacial de los estudiantes en torno a los hitos narrados en la línea de tiempo.

(Figura 6 y Figura 7). Lo anterior puede tener diversas causas, como lo señalado por Martínez y colaboradores (2001), quienes señalan que “frecuentemente se plantean visiones del conocimiento científico como superior, objetivo, neutral y descontextualizado” por parte de los docentes a los alumnos, sin incorporar una visión holística de la ciencia. Más aún, la priorización curricular de objetivos propuesta por el MINEDUC en el año 2020 (cuya vigencia continúa hasta fines del 2021), y que tiene como motivación central otorgar la suficiente flexibilidad para que las escuelas puedan enfrentar el desafío generando

oportunidades factibles y contextualizadas que le permitan a todos sus estudiantes avanzar en los aprendizajes esenciales (MINEDUC, 2020); redujo las posibilidades de los docentes para incorporar episodios o reseñas históricas, obviando algunos objetivos considerados en los planes y programas, principalmente por falta de tiempo. Otra causa de la escasa incorporación de episodios históricos en las clases de ciencias por parte de los docentes, puede radicar en situaciones como las que nos señala Parrales (2021): “muy pocos docentes indican conocer las tecnologías que pueden aplicar en sus clases, mientras que un porcentaje importante de ellos manifiesta no sentirse preparado para aplicar de manera efectiva las nuevas tecnologías en el proceso de enseñanza”. Por lo tanto, los docentes, al no presentar una formación y capacitación sólida, y al carecer de tiempo para idear materiales e innovar con los recursos tecnológicos, obvian la incorporación de la Historia de la Ciencia, y cabría preguntarse cuánto conocer realmente los docentes acerca del desarrollo de la historia de la Biología molecular.

Si bien en prácticamente la totalidad de las respuestas se evidenció una mejora en la apropiación de los conceptos (Figura 4), tales diferencias, en su mayoría no fueron estadísticamente significativas ($p > 0.05$). Al respecto, se debe tener especial consideración con los resultados obtenidos para estos datos, debido a que la muestra fue muy reducida, considerándose de esta manera como una variable que no fue posible controlar en el presente estudio, debido a que la recolección de datos, en su mayoría, se hizo bajo la modalidad online debido a la contingencia sanitaria. En este sentido, aunque todos los docentes que participaron se mostraron abiertos a facilitar sus cursos y horarios de clase, no tenían la facultad de predecir o controlar el nivel de asistencia y participación de los estudiantes, quienes, en más de una oportunidad, sólo se conectaron a una de las intervenciones realizadas, o rindieron sólo uno de los dos Test y por lo tanto, redujeron drásticamente la muestra. En ese sentido, el reducido n estudiado ($n = 25$) no permite concluir de manera tajante los resultados informados sobre la apropiación de conceptos en torno a la Biología molecular. No obstante, algunos autores indican que las estrategias de enseñanza fomentan las instancias de aprendizaje, promoviendo la participación de los estudiantes (Flores et al., 2017). En consecuencia, ampliar la muestra total (n) debería proporcionar una mayor robustez a los datos aquí informados.

Conclusiones

En base a los resultados obtenidos a partir de esta investigación es posible concluir que:

- Los estudiantes de tercer año medio de tres establecimientos educacionales de la ciudad de Los Ángeles y Mulchén, presentaron concepciones alternativas relacionadas principalmente a:
 - La estructura molecular del ADN y ARN
 - La función del ADN
 - La naturaleza del ARN como ácido nucleico que participa de los procesos de transcripción y traducción
 - El dogma central de la Biología molecular

- La mayoría de los estudiantes, luego de la aplicación de la estrategia didáctica línea de tiempo “Historia de la Biología molecular”, ya no presenta concepciones alternativas en torno a:
 - La composición química de los nucleótidos, ya que luego de la intervención realizada, reconocen que estos se unen mediante enlaces fosfodiéster.
 - La idea de que sólo las células sexuales presentan ADN, por lo cual, luego de la intervención un gran porcentaje, considera que las células somáticas también presentan cromosomas autosómicos y sexuales, no obstante logran distinguir que las mutaciones sólo se heredan si ellas ocurren en los gametos, mientras que los cambios en el ADN de las células somáticas no se heredan.

En suma, con estos datos la hipótesis de que la estrategia didáctica incrementa la apropiación de los conceptos científicos asociados a la Biología Molecular no puede ser aceptada.

Sugerencias y límites de la investigación

A continuación, se plantean una serie de sugerencias a considerar para futuras investigaciones relacionadas con este estudio:

- En estudios posteriores sería interesante implementar este tipo de estrategias didácticas en diferentes unidades del programa de estudio no sólo para tercer año medio, sino que en todos los niveles de enseñanza media, con la finalidad de fomentar el interés en los estudiantes, y para promover en ellos el desarrollo del pensamiento crítico, la alfabetización científica y el aprendizaje de aspectos de la Naturaleza de la Ciencia.
- Se sugiere que para una próxima investigación se tome en consideración una muestra de mayor tamaño que permita detectar diferencias significativas antes y después de la aplicación de la estrategia didáctica, y que las intervenciones a realizarse, de preferencia se hagan en modalidad presencial, para obtener un mayor número de datos, interactuar de manera directa con los docentes y estudiantes, y contar con la retroalimentación de parte de los alumnos acerca de su punto de vista con respecto a los hechos, fenómenos sociales, culturales y éticos en torno a la Historia de la Ciencia.
- Mantener investigaciones en esta misma línea, para detectar y corregir las principales concepciones alternativas que presentan los estudiantes en torno a diferentes materias, ya que tomarlas en consideración resulta fundamental para una buena enseñanza de la Ciencia

Referencias

Abd-El-Khalick, F. y Lederman, N. (2000). The Influence of History of Science Courses on Students' Views of Nature of Science. *History of science and nature of science views*, 37(10), 1057-1095.

<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.466.265&rep=rep1&type=pdf>

Acevedo, J. (2004). Reflexiones sobre las finalidades de la enseñanza de las ciencias: educación científica para la ciudadanía. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 1(1), 3-16. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92010102>

Agencia de calidad de la educación. (2013). *Los aprendizajes en la escuela: ampliando la mirada de calidad Resultados 2013*, https://educacion2020.cl/wp-content/uploads/2014/06/conferencia_nacional_resultados_simce_2013_final.pdf

Agencia de calidad de la educación. (2018). *Informes resultados PISA 2018 Competencia Lectora, Matemática y Científica en estudiantes de 15 años en Chile*, http://archivos.agenciaeducacion.cl/PISA_2018-Entrega_de_Resultados_Chile.pdf

Aguilar, T. (1999). *Alfabetización científica y educación para la ciudadanía. Una propuesta de formación de profesores*. Narcea ediciones. recuperado de https://books.google.cl/books?id=iXhqQKiafqc&printsec=frontcover&hl=es&source=gb_s_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Allchin, D. (2011). Evaluating knowledge of the nature of (Whole) Science. *Science Education*, 95, 918 – 942. <http://douglasallchin.net/papers/EvaluatingKNOWS.pdf>

Allchin, D. (2012). Teaching the Nature of Science through Scientific Errors. *Science Education* 96(5), 904–926. <http://www.bu.edu/hps-scied/files/2012/11/Allchin-HPS-Teaching-NOS-through-Scientific-Error.pdf>

Anaya, A. y Anaya, C. (2010). ¿Motivar para aprobar o para aprender? Estrategias de motivación del aprendizaje para los estudiantes. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 25(1), 5-14 <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48215094002>

Argento, D., (2013). Estudio exploratorio sobre preconcepciones en el área de Genética en alumnos de Secundaria italianos y españoles. *Universidad Internacional de La Rioja*, recuperado de: https://reunir.unir.net/bitstream/handle/123456789/1425/2013_01_30_tfm_estudio_del_tra_bajo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Azeglio, L., Mayoral, L. y Sara, C. (2015). *Concepciones alternativas de genética básica y división celular en estudiantes de secundaria Universidad Nacional de La Plata, Argentina*. En Memoria Académica. Disponible en: http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/trab_eventos/ev.8046/ev.8046.pdf

Banasco, J. y Hernández, J. (2014). La historia de la Biología en el proceso de enseñanza-aprendizaje en la formación inicial de los estudiantes de las carreras Biología-Química y Biología-Geografía, *Revista Científico-Metodológica*, (59), 72-78, <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=360636905012>

Bastidas, L. y Oliveros, M., (2018). Aproximación a las concepciones sobre ADN y ARN de estudiantes del grado noveno de la Institución educativa Escuela Normal Superior de Neiva-Huila. *Revista Erasmus Semilleros de Investigación*, 2(1): 79-85

Betancur, P. (2008). *La Incidencia de la Historia y la Epistemología en la Enseñanza del Concepto de ADN*. Universidad de Antioquia, Colombia.

Boerner, J. (2014). Utilizing the History of Science to Enhance Student Understanding and Engagement: A Compilation of Earth Science Lesson Plans. *Education and Human Development Master's Theses*. https://digitalcommons.brockport.edu/ehd_theses/514

Caballero, M. (2008). Algunas ideas del alumnado de secundaria sobre conceptos básicos de genética. *Enseñanza de las ciencias*, 26(2), 227–244. <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/118096/0>

Cabrero, J. (2000). *Nuevas tecnologías aplicadas a la educación*. España: Editorial Síntesis

Cajas, F. (2001). Alfabetización científica y tecnológica: la transposición didáctica del conocimiento tecnológico. *Revista Enseñanza de las ciencias*, 9(2), 243-254. https://www.researchgate.net/publication/39141192_Alfabetizacion_cientifica_y_tecnologica_la_transposicion_didactica_del_conocimiento_tecnologico

Calixto, R. y García, M. (2011). Concepciones alternativas de los profesores de biología. una aproximación desde la investigación educativa. *Educación y desarrollo social*, 5(1) 13-23. https://www.researchgate.net/publication/303518203_CONCEPCIONES_ALTERNATIVAS_DE_LOS_PROFESORES_DE_BIOLOGIA_UNA_APROXIMACION_DESDE_LA_INVESTIGACION_EDUCATIVA/link/5745d25e08ae9f741b430e44/download

Campos, A. (2005). *Mapas conceptuales, mapas mentales y otras formas de representación del conocimiento*. Cooperativa editorial magisterio.

Carrascosa, J., Martínez, J., Furió, C. y Guisasola, J. (2008). ¿Qué hacer en la formación inicial del profesorado de ciencias de secundaria? *Rev. Eureka Enseñ. Divul. Cien.* 5:118-133

Castro, E., Gómez, P. y Llavona, L. (2012). La historia de la ciencia como recurso didáctico en Física y Química desde un punto de vista constructivista. *Revista tiempo y sociedad*, (8), 68-88. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4193622>

Clough, M. (2006). Learners' Responses to the Demands of Conceptual Change: Considerations for Effective Nature of Science Instruction. *Science Education*, 15(5), 463–494. <http://www.bu.edu/hps-scied/files/2012/11/Clough-HPS-Demands-of-Conceptual-Change-and-Effective-NOS-Instruction.pdf>

Centro de Perfeccionamiento, Experimentación e Investigaciones Pedagógicas- Ministerio de Educación. (2008). *Marco para la buena enseñanza*, <https://www.cpeip.cl/wp-content/uploads/2019/01/Marco-buena-ensenanza.pdf>

Cofré, H. (2010). *Cómo mejorar la enseñanza de las ciencias en Chile: Perspectivas internacionales y desafíos nacionales*. Ediciones Universidad Católica Silva Henríquez

Cofré, H. (2012). La enseñanza de la naturaleza de la ciencia en Chile: del currículo a la sala de clases, *Revista chilena educación científica*, 11 (1), 12-21. <https://nosyevolucion.files.wordpress.com/2013/10/cofre-nos-2012.pdf>

Cortez, L., Latorre, N. y Hernández, R. (2016). La historia en la enseñanza del ADN: Una propuesta para generar un cambio de visión de ciencia en la escuela. *Propósitos y Representaciones*, 4(1), 281-326. <http://dx.doi.org/10.20511/pyr2016.v4n1.9>

Chamizo, J. (2017). *Habilidades del pensamiento científico: el diagrama heurístico*. Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Química.

Creswell, J. (2015). *A concise introduction to mixed methods research*. SAGE.

Cubero, R. (1994). Concepciones Alternativas, Preconceptos, Errores Conceptuales... ¿Distinta terminología un mismo significado?, *Investigación en la Escuela*, 33-42. https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/59603/R23_3.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gellon, G., Rosenvasser, F., Furman, M., y Golombek, D. (2018). *La ciencia en el aula*. Siglo XXI editors.

Faria, F., Revel, A. y Aduriz Bravo, A. (2021). Naturaleza de la ciencia en un objeto virtual de aprendizaje para el profesorado de ciencias en formación. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(1), 239-258. 239. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3060>

Ferrada, V., González, N., Ibarra, M., Ried, A., Vergara, D. y Castillo, F., (2021). Formación docente en TIC y su evidencia en tiempos de COVID-19. *Revista Saberes Educativos*, 6, 144-168.

Flores, J., Ávila, J., Rojas, C., Sáez, F., Acosta R. y Díaz, C. (2017). *Estrategias didácticas para el aprendizaje significativo en contextos universitarios*. Unidad de Investigación y Desarrollo Docente Dirección de Docencia Universidad de Concepción.

Freund, J. y G. Simon. (1992). *Estadística elemental*. Pearson Prentice Hall. Octava edición.

García-Bellido, R., González Such, J. y Jornet Meliá, J.M. (2010). *Introducción al SPSS: Alfa de Cronbach*. Recuperado de https://www.uv.es/innomide/spss/SPSS/SPSS_0801B.pdf

Gellon, G., Rosenvasser, E., Furman, M. y Golombek, D. (2005) *La ciencia en el aula : lo que nos dice la ciencia sobre cómo enseñarla*. Buenos Aires : Paidós. Primera edición

George, D. y Mallery, P. (2003). *SPSS for Windows step by step: A simple guide and reference. 11.0 update* (4a ed.). Boston, MA: Allyn & Bacon. 683- 690.

Guevara, G. (2004). ADN: historia de un éxito científico *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia*, vol. 3, núm. 11, 9-40.

Hammer, O., Harper, D., Ryan, P.D. (2001). PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol. Electron.* 4, 1–9. https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/past.pdf

Hernández M. (2000). Un currículo para el estudio de la historia de la ciencia en Secundaria (la experiencia del Seminario Orotava de Historia de la Ciencia). *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 18(1), 105-112.
<https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21643>

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2006). *Metodología de la investigación*. McGRAW-HILL.

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*.. McGRAW-HILL.

HHMI BioInteractive (2016). *La doble hélice* [Archivo de Video]. Youtube.
https://www.youtube.com/watch?v=FMIsQlrg_w

Irwin, A. (2000). Historical case studies: Teaching the nature of science in context. *Science Education*, 84(1), 5–26.

Izquierdo, M., García, A., Quintanilla, M. y Adúriz, A. (2016). *Historia, filosofía y didáctica de las ciencias: aportes para la formación del profesorado de ciencias*. Sexta edición. Doctorado interinstitucional en Educación, Colombia.

Rubio, J., (2009). El surgimiento de la biología molecular. *Ciencia UANL*, Vol. XII, 2, 135-142 Disponible en:
<http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=40211229004>

Linn, M., Matul, C. y Gerard, L. (2016). Science Education: From Separation to Integration. *Revista Review of Research in Education*, 40, 529-587.
https://www.researchgate.net/publication/312127419_Science_Education_From_Separation_to_Integration

López, J., Díaz, M., Cejudo, S., Ruiz del Árbol, M., Moreno, E., Refolio, M., López, P., Lera, J., Antuña, J., Adamska, J., Karpińska, K., Cyganek, M., Szczepańczyk G., Szczepańczyk, J., Jasinskiene, R., Gustienė, I., Juodienė, G., Milašienė, A., López, V.,... y Martínez, A. (2016). *Alfabetización científica en la escuela: propuesta de una nueva metodología*. SciLit.

Martinez, M., Del Pozo, M., Vega, R., Varela, M., Fernández, M. y Guerrero, A. (2001). ¿Qué pensamiento profesional y curricular tienen los futuros profesores de ciencias de secundaria? *Enseñanza de las ciencias*, 19 (1), 67-87

Martinic, S. y Vergara, C. (2007). Gestión del tiempo e interacción del profesor-alumno en la sala de clases de establecimientos de Jornada Escolar Completa en Chile. *Revista Electrónica Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación* 5, 3-20.

McComas, W. (1998). *The Nature of Science in Science Education Rationales and Strategies*. Kluwer academic publishers. <https://philarchive.org/archive/KIPAH0v1>

McKenney, S., & Visscher, A. (2019). Technology for teacher learning and performance. *Technology, Pedagogy and Education*, Vol. 28, 129-132. <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/1475939X.2019.1600859>

Mellado, J. (2003). Cambio didáctico del profesorado de ciencias experimentales y filosofía de la ciencia. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(3), 343-358. <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21943>

Parrales, P., (2021). Las TIC y la educación en los tiempos de pandemia. *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, Vol. 14, No. 6, 104-117. <http://publicaciones.uci.cu>

Paraskevoupoulou, E. y Koliopoulus, D. (2010). Teaching the Nature of Science Through the Millikan- Ehrenhaft Dispute. *Science & Education*, 20(10), 943–960. <https://dkoliopoulos.gr/el/wp-content/uploads/2012/01/Teaching-the-nature.pdf>

Pedros, G., Martínez, M. y Varo Martínez, M. (2007). *La sección de Cartas al editor :un planteamiento científico y social en la didáctica de las ciencias*. Enseñanza de las ciencias, 2007, 25(2), 195–204. https://www.researchgate.net/publication/39330664_La_seccion_de_Cartas_al_editor_un_planteamiento_cientifico_y_social_en_la_didactica_de_las_ciencias/link/543fa18d0cf2f3e82851e89d/download

Pértega, S. y Pita. S. (2004). Asociación de variables cualitativas: El test exacto de Fisher y el test de Mcnemar. https://www.agamfec.com/pdf/CADERNOS/VOL11/VOL11_5/14_Invest_N11_5.pdf

Porlán, M. (2003). Principios para la Formación del Profesorado de Secundaria, *Revista interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 17(1), 23-35. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=27417103>

Quintanilla, M. (2000). Bases epistemológicas y didácticas del curriculum en ciencias biológicas [Extracto Conferencia Primer Seminario Taller en Didáctica de la Biología].Convención Intercontinental de Psicología y Ciencias Humanas “Crecimiento Humano y Diversidad”, La Habana, Cuba. http://www7.uc.cl/sw_educ/educacion/grecia/plano/html/pdfs/linea_investigacion/HF_Ciencia_IHF/IHF_038.pdf

Ribón, A. y Ramos, D. (2019) Caracterización de ideas previas del concepto de ADN por medio de mapas conceptuales en estudiantes de grado octavo. *Escritos sobre la Biología y su Enseñanza*, 37-47. <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/biografia/article/view/10834/7672>

Sáiz Serrano, J. (2013). Alfabetización histórica y competencias básicas en libros de texto de historia y en aprendizajes de estudiantes. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 27, 37-64. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4681250>

Salazar, A., Vera, J., Guajardo, C. y Armendáriz, J. (2016) *Biología molecular Fundamentos y aplicaciones en la ciencia de la salud*. McGrawHill.

Santibáñez, D., Becerra, B., Nuñez, P., Pavez, J., y Cofré, H. (2017). La Historia de la Ciencia como elemento catalizador de la enseñanza de la Biología y la Naturaleza de la Ciencia. *Revista de Innovación en Enseñanza de las Ciencias*, 1(1), 64 –78. https://www.researchgate.net/publication/320508239_La_Historia_de_la_Ciencia_como_el_elemento_catalizador_de_la_ensenanza_de_la_Biologia_y_la_Naturaleza_de_la_Ciencia

Shilatifard, A. (2020) Medicine in the time of corona: Fundamental molecular research is "essential". *Science Advance*. <https://advances.sciencemag.org/content/advances/6/23/eabc2800.full.pdf>

Tamayo, Ó. E. (2009). *Didáctica de las ciencias: La evolución conceptual en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias*. Manizales: Editorial Universidad de Caldas.

UNESCO. (2019). *TICs en la Educación*. Washington D.C.: Unesco.

Unidad de Currículum y Evaluación Ministerio de Educación. (2019). *Bases Curriculares 3° y 4° medio*, https://www.curriculumnacional.cl/614/articles-91414_bases.pdf

Unidad de Curriculum y Evaluación. (2009). *Fundamentos del ajuste curricular en el sector de Ciencias Naturales*, http://www.smartienda.cl/smartwebsite/pruebas/4374/Fundamentacion_Ajuste_Ciencias.pdf

Unidad de Currículum y Evaluación Ministerio de Educación. (2021). *Programa de estudio Biología Celular y Molecular para formación diferenciada 3° o 4° Medio*, recuperado de https://www.curriculumnacional.cl/614/articles-40138_programa_feb_2021_final_s_disegno.pdf

Unidad de Currículum y Evaluación Ministerio de Educación. (2020). *Fundamentación priorización curricular covid-19*. <https://www.curriculumnacional.cl/portal/Documentos-Curriculares/Priorizacion-Curricular/Fundamentos-y-Orientaciones/179650:Fundamentacion-Priorizacion-Curricular>

Valdivia, N. (2016). Alfabetización científica en física El cambio curricular no ha sido suficiente, *Praxis Pedagógica*, (18) 71-87. https://www.researchgate.net/publication/321013972_Alfabetizacion_cientifica_en_fisica_El_cambio_curricular_no_ha_sido_suficiente

Vergara, C. (2006). *Concepciones sobre la enseñanza y el aprendizaje en profesores de biología: Coherencia entre el discurso y la práctica de aula*. Tesis doctoral para optar al grado de Doctor en Ciencias de la Educación de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Vieytes, R. (2004). *Metodología de la Investigación en Organizaciones, Mercado y Sociedad*. Editorial de las Ciencias. Argentina.

Watson, D. (2007). *La doble helice: relato personal del descubrimiento de la estructura del ADN*. Alianza editorial.

Wilson, Edward O. (2002): "The power of story", *American Educator*, 8-11.

Wiley, D. (2002). *The Instructional Use of Learning Objects*. Agency for Instructional Technology.



Anexos

Anexo 1. Línea de tiempo interactiva Genially (URL e imágenes de la línea de tiempo)

<https://view.genial.ly/5e95c76fe948540e05f69719/interactive-content-linea-de-tiempo> (URL)

Figura A1 Imágenes de la línea de tiempo en Genially.



Anexo 2. Instrumento de evaluación aplicado a terceros medios

Instrumento de evaluación.

Con la finalidad de exponer en los anexos el instrumento de evaluación de manera lógica y ordenada, se adjunta a continuación el instrumento con algunas modificaciones de formato:

Asentimiento informado

Docente responsable: Mag. Alejandra Barriga Acevedo

Alumna seminarista: Camila Chacana Díaz.

Fecha de aplicación: 08 al 26 de Noviembre 2021

La presente investigación, tiene como objetivo principal evaluar la apropiación de conceptos claves de Biología molecular en los estudiantes de tercer año medio, del plan de formación diferenciado Humanista Científico, utilizando como herramienta pedagógica la Historia de esta disciplina biológica. Para ello se analizarán cinco establecimientos de la comuna de Los Ángeles, a través de una intervención que describirá las principales ideas y conceptos asociados al desarrollo de la biología molecular, mediante el uso de una línea de tiempo narrada.

En el presente estudio se medirán tanto los conocimientos previos que posean los estudiantes, como también los conocimientos adquiridos una vez realizada la intervención didáctica. Para ello, se aplicará un pre-test y un post-test, el cual constará de 25 preguntas de selección múltiple, y un ítem breve de desarrollo. dicho instrumento permitirá detectar concepciones alternativas y conceptos sobre biología molecular.

Mi nombre es Camila Chacana Díaz y estudio en la facultad de Ciencias de la Universidad de Concepción, Campus Los Ángeles. Actualmente se está realizando un estudio, para saber si la incorporación de la historia de la Biología molecular, es determinante a la hora de incrementar el nivel de apropiación de conceptos asociados e esta rama de la Ciencia, en los

estudiantes de tercero año medio. Es por lo anteriormente descrito, que queremos pedirte que nos apoyes.

Tu participación en el estudio consistiría en responder un pre-test, que constará de:

- 24 preguntas escala de tipo Likert, es decir ante veinticuatro afirmaciones debes elegir entre las opciones De acuerdo, En desacuerdo o No lo sé.
- El último ítem del Test consiste en un cuadro donde deberás ordenar siete de los hitos más relevantes en torno a la historia del descubrimiento de la molécula de ADN.

En una instancia posterior a este pre-test, se llevará a cabo un taller que consistirá en la narración de la historia de la Biología molecular (sus hitos más importantes) a partir de una línea de tiempo interactiva, que estará disponible en la plataforma Genially, para que la revises y consultes cuantas veces desees.

Finalmente, en una instancia posterior al taller, se repetirá la aplicación del test inicial, para evaluar si efectivamente los y las estudiantes logran identificar los principales hitos y contribuciones más relevantes asociadas a la Biología molecular. También nos interesa conocer tu opinión respecto a la implementación de esta actividad.

Tu participación en el estudio es VOLUNTARIA, es decir, aun cuando tu apoderado haya autorizado tu participación, si tú no quieres hacerlo puedes decir que no. Es tu decisión si participas o no en el estudio. También es importante que sepas que si en un momento dado ya no quieres continuar en el estudio, no habrá ningún problema o sanción.

Toda la información que nos proporciones/ las mediciones que realicemos nos ayudarán a determinar si la incorporación de esta estrategia de aprendizaje, resulta útil a la hora de incorporar la Historia de la Ciencia en la enseñanza de la Biología molecular.

Es importante recalcar que todos los datos obtenidos serán expuestos solo en la investigación presente y serán resguardados bajo el anonimato. Su participación no pondrá en riesgo (identificable) su integridad física y psicológica, ni tampoco generará algún tipo de beneficio directo a los participantes, ya sea en el aspecto económico o académico (sumativo).

Los resultados de este estudio pueden ser publicados, pero su identidad no será revelada y sus datos personales permanecerán en forma confidencial. Además, estos resultados estarán a disposición del participante y, ante cualquier duda o consulta, se pueden contactar mediante correo electrónico con la docente Alejandra Barriga a abarriga@udec.cl, supervisora del estudio.

Correo electrónico: _____

Nombre del estudiante: _____

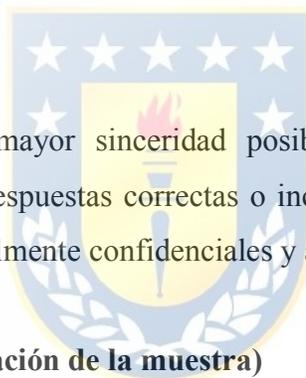
Si aceptas participar, te pido que por favor marques la casilla con la opción Si ACEPTO participar. De lo contrario, puedes marcar la opción NO ACEPTO participar en el estudio.

Si acepto participar: _____

No acepto participar: _____

Cuestionario:

Conteste este cuestionario con la mayor sinceridad posible. Marque la opción que corresponda y recuerda que no hay respuestas correctas o incorrectas. Las respuestas que entregue en este documento serán totalmente confidenciales y anónimas.



I Ítem: Datos generales (Caracterización de la muestra)

Nombre y apellidos: _____

Sexo:

Masculino _____

Femenino _____

Curso: _____

Establecimiento: _____

¿Te parece interesante conocer los principales hitos históricos en torno a la Biología Molecular?

Si: _____

No: _____

Ítem 2: Concepciones alternativas: A continuación, se presentan algunas afirmaciones en relación a la Biología Molecular. Responda a cada enunciado marcando en la casilla: estoy de acuerdo, en desacuerdo o no lo sé.

Tabla A1. Preguntas del ítem de concepciones alternativas relativas a la estructura y función de los ácidos nucleicos, nucleótidos; conceptos de genética y principios de la Biología molecular. Las opciones de respuestas pueden ser: De acuerdo, en desacuerdo o no lo sé.

Afirmaciones	De acuerdo	En desacuerdo	No lo sé
1. El ADN es el portador de la información genética.			
2. El ADN como material genético determina el funcionamiento de las células			
3. Las mutaciones a nivel celular ocurren en el material genético			
4. Los cromosomas son portadores de los genes.			
5. Algunos genes se encuentran ligados a los cromosomas sexuales.			
6. Un par de cromosomas homólogos está formado por un cromosoma del padre y uno de la madre.			
7. Un gen es un factor hereditario (región del DNA) que participa en determinar una característica específica			
8. Un nucleótido es la unidad básica de un ácido nucleico			
9. El nucleótido está formado por un azúcar, un ácido fosfórico y una base nitrogenada.			
10. Los glúcidos de 5 átomos de carbonos forman parte de los ácidos nucleicos.			
11. Los nucleótidos se unen por enlaces fosfodiéster			
12. La complementariedad de las bases es clave para la estructura del ADN.			
13. Las dos hebras de ADN forman una doble hélice.			
14. Las dos cadenas del ADN se disponen de manera antiparalela			
15. Los grupos fosfatos se orientan hacia el exterior en la molécula de ADN.			
16. El código genético se lee en tripletes			
17. La expresión “ADN-->ARN-->Proteína” indica la transformación de una molécula en otra.			
18. El flujo de la información involucra los procesos de replicación, transcripción y traducción			
19. La replicación del ADN es conservativa			
20. Según el principio de complementariedad de las bases, si la molécula de ADN de una especie presenta un 30% de adenina, tendrá un 20% de guanina			
21. Las mutaciones deben afectar a las células sexuales, para que los cambios afecten a las siguientes generaciones			
22. El ARN es otro tipo de ácido nucleico			
23. Sólo las células sexuales poseen ADN			
24. En el experimento de Griffith, el cambio de las bacterias no virulentas a virulentas, se debió a la incorporación de material genético intracelular			

Ítem 3: Ordenación cronológica: Ordena de manera cronológica algunos hitos relacionados a la historia de la Biología Molecular. Para ello, a continuación debes escribir los números desde el hito más antiguo hasta el más reciente.

Tabla A2. Comprende siete hitos en torno a la historia de la Biología molecular, para evaluar si los estudiantes logran ordenarlos de manera cronológica, de acuerdo a lo expuesto en la estrategia didáctica.

Hito	Primer evento	Segundo evento	Tercer evento	Cuarto evento	Quinto evento	Sexto evento	Séptimo evento
Descubrimiento del código genético							
Principio de complementariedad de los pares de bases nitrogenadas							
Descubrimiento de la estructura del ADN							
Leyes de la herencia							
Descubrimiento del principio transformante (ADN)							
Teoría cromosómica							
Secuenciación del genoma humano							

Anexo 3. Formulario de validación del instrumento de evaluación para el tribunal de expertos

Validación de cuestionario para pesquisar concepciones alternativas sobre Biología Molecular en estudiantes de tercero año medio de la Ciudad de Los Ángeles y Mulchén año 2021.

Consideraciones generales:

A continuación se presentan las preguntas del Cuestionario que permitirán identificar la presencia de concepciones alternativas sobre Biología Molecular en estudiantes de tercero y cuarto año medio de la ciudad de Los Ángeles.

Objetivo de la validación del instrumento:

Validar la pertinencia del cuestionario diseñado para identificar y evaluar la presencia de concepciones alternativas sobre Biología Molecular en estudiantes de tercero y cuarto año medio.

Objetivos del cuestionario:

- Describir a los estudiantes de tercer año medio en relación a su interés por la historia de la Biología Molecular.
- Identificar la presencia de concepciones alternativas en torno a la Biología Molecular.
- Evaluar si los estudiantes de tercer año medio logran ordenar de manera cronológica algunos hitos de la Biología Molecular.

Planilla de validación del cuestionario

Consideraciones generales:

En el presente documento se presentan los diferentes ítems y variables del cuestionario, con sus correspondientes casillas de validación. Para ello, deberá marcar con un SI es o NO relevante y clara la variable, las que permitirán, por un lado, describir a la muestra, identificar la presencia de concepciones alternativas sobre Biología Molecular y si logran ordenar cronológicamente algunos hitos de la historia de la Biología Molecular.

- **Relevancia:** la pregunta es esencial o importante para el indicador, es decir, debe ser incluida.
- **Claridad:** La pregunta se comprende fácilmente.

Relevancia	Claridad	Observaciones



CUESTIONARIO

Conteste este cuestionario con la mayor sinceridad posible. Marque la opción que corresponda y recuerda que no hay respuestas correctas o incorrectas. Las respuestas que entregue en este documento serán totalmente confidenciales y anónimas.

1. Datos generales.

Nombre: _____

Sexo:

Masculino () _____

Femenino () _____

Curso: _____

Establecimiento: _____

Relevancia	Claridad	Observaciones

¿Es de tu interés la Historia de la Biología Molecular?

Si ()

No ()

Relevancia	Claridad	Observaciones

2. A continuación, se presentan algunas afirmaciones en relación a Biología Molecular. Responda cada enunciado marcando con una X si está de acuerdo, en desacuerdo o no lo sé.



N°	Enunciado	Apreciación		
		De acuerdo	En desacuerdo	No lo sé
1	El ADN es el portador de la información genética.			

Relevancia	Claridad	Observaciones

N°	Enunciado	Apreciación		
		De acuerdo	En desacuerdo	No lo sé
2	El ADN como material genético determina el funcionamiento de las células.			

Relevancia	Claridad	Observaciones

N°	Enunciado	Apreciación		
		De acuerdo	En desacuerdo	No lo sé
3	Las mutaciones ocurren en el material genético.			

Relevancia	Claridad	Observaciones

N°	Enunciado	Apreciación		
		De acuerdo	En desacuerdo	No lo sé
4	Los genes se transmiten de una célula a otra.			

Relevancia	Claridad	Observaciones

N°	Enunciado	Apreciación		
		De acuerdo	En desacuerdo	No lo sé
5	Los cromosomas son portadores de los genes.			

Relevancia	Claridad	Observaciones

N°	Enunciado	Apreciación		
		De acuerdo	En desacuerdo	No lo sé
6	Algunos genes se encuentran ligados al sexo.			

Relevancia	Claridad	Observaciones

N°	Enunciado	Apreciación		
		De acuerdo	En desacuerdo	No lo sé
7	Un par de cromosomas homólogos está formado por un cromosoma del padre y uno de la madre.			

Relevancia	Claridad	Observaciones

N°	Enunciado	Apreciación		
		De acuerdo	En desacuerdo	No lo sé
8	Un gen es un factor hereditario (región del DNA) que participa en determinar una característica.			

Relevancia	Claridad	Observaciones

N°	Enunciado	Apreciación		
		De acuerdo	En desacuerdo	No lo sé
9	Un nucleótido es la unidad básica de un ácido nucleico.			

Relevancia	Claridad	Observaciones

N°	Enunciado	Apreciación		
		De acuerdo	En desacuerdo	No lo sé
10	El nucleótido esta formado por un azúcar, un ácido fosfórico y una base nitrogenada.			

Relevancia	Claridad	Observaciones

N°	Enunciado	Apreciación		
		De acuerdo	En desacuerdo	No lo sé
11	Los glúcidos de 5 átomos de carbonos forman parte de los ácidos nucleicos.			

Relevancia	Claridad	Observaciones

N°	Enunciado	Apreciación		
		De acuerdo	En desacuerdo	No lo sé
12	Los nucleótidos se unen por enlaces fosfodiéster.			

Relevancia	Claridad	Observaciones

N°	Enunciado	Apreciación		
		De acuerdo	En desacuerdo	No lo sé
13	La complementariedad de las bases es clave para la estructura del ADN.			

Relevancia	Claridad	Observaciones

N°	Enunciado	Apreciación		
		De acuerdo	En desacuerdo	No lo sé
14	Las dos hebras de ADN forman una doble hélice.			

Relevancia	Claridad	Observaciones

N°	Enunciado	Apreciación		
		De acuerdo	En desacuerdo	No lo sé
15	Las dos cadenas del ADN se disponen de manera antiparalela.			

Relevancia	Claridad	Observaciones

N°	Enunciado	Apreciación		
		De acuerdo	En desacuerdo	No lo sé
16	Los grupos fosfatos en la molécula de ADN se orientan hacia le exterior.			

Relevancia	Claridad	Observaciones

N°	Enunciado	Apreciación		
		De acuerdo	En desacuerdo	No lo sé
17	El código genético se lee en tripletes.			

Relevancia	Claridad	Observaciones

N°	Enunciado	Apreciación		
		De acuerdo	En desacuerdo	No lo sé
18	La expresión “ADN->ARN->Proteína” indica la transformación de una molécula en otra.			

Relevancia	Claridad	Observaciones

N°	Enunciado	Apreciación		
		De acuerdo	En desacuerdo	No lo sé
19	El flujo de la información involucra los procesos de replicación, transcripción y traducción.			

Relevancia	Claridad	Observaciones

N°	Enunciado	Apreciación		
		De acuerdo	En desacuerdo	No lo sé
20	La replicación del ADN es conservativa.			

Relevancia	Claridad	Observaciones

3. Ordena de manera cronológica algunos hitos relacionados a la historia de la Biología Molecular, enumerándolos del 1 al 7.

Hitos	Orden cronológico
Descubrimiento del código genético	
Principio de complementaridad de pares de las bases	
Descubrimiento de la estructura del ADN	
Leyes de la Herencia	
Descubrimiento del principio transformante (ADN)	
Teoría cromosómica	
Secuenciación del genoma humano	

Relevancia	Claridad	Observaciones

Anexo 4. Fuentes bibliográficas consultadas para la elaboración de la estrategia didáctica (línea de tiempo)

Tabla A3. Referencias bibliográficas utilizadas para la construcción de la línea de tiempo narrada.

Autor-Año	Artículo	Libro	Documental
James Watson, 2007		La doble helice: relato personal del descubrimiento de la estructura del ADN	
Adriana a Salazar, Ana Sandoval y Juan Armendáriz, 2016		Biología molecular Fundamentos y aplicaciones en la ciencia de la salud	
Guillermo Guevara, 2004	ADN: Historia de un éxito científico		
HHMI BioInteractive, 2016			La doble hélice
Julio Rubio, 2009	Surgimiento de la biología molecular		
Alberto Kornblihtt, 2000	Biología Molecular y medicina a fines del siglo		
Jael Flores Flores, Jorge Ávila, Constanza Rojas, Fernando Sáez, Robinson Acosta y Claudio Díaz, 2017		Estrategias didácticas para el aprendizaje significativo en contextos universitarios	
Leonardo Cortez, Nubia Latorre y Rubinsten Hernández, 2016		La historia en la enseñanza del ADN: Una propuesta para generar un cambio de visión de ciencia en la escuela	

Anexo 5. Recursos disponibles en el programa de Biología celular y molecular del año 2021

Videos

- [www.curriculumnacional/link/https://www.youtube.com/watch?v=nEAXlj6c32E](https://www.youtube.com/watch?v=nEAXlj6c32E)
- [www.curriculumnacional/link/https://www.youtube.com/watch?v=0GpQzuxAdfM](https://www.youtube.com/watch?v=0GpQzuxAdfM)

Recursos y sitios web:

- [www.curriculumnacional/link/https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/index.php/ediciones-antiores/7-vol-57-num-3-julio-septiembre-2006/comunicacioneslibres58/14-la-fisica-en-el-origen-de-la-biologia-molecular](https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/index.php/ediciones-antiores/7-vol-57-num-3-julio-septiembre-2006/comunicacioneslibres58/14-la-fisica-en-el-origen-de-la-biologia-molecular)
- [www.curriculumnacional/link/http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/histologia/biologiacelulardesarrollohistorico.pdf](http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/histologia/biologiacelulardesarrollohistorico.pdf)
- [www.curriculumnacional/link/https://www.bbvaopenmind.com/articulos/el-siglo-del-gen-biologia-molecular-y-genetica/](https://www.bbvaopenmind.com/articulos/el-siglo-del-gen-biologia-molecular-y-genetica/)
- [www.curriculumnacional/link/https://es.khanacademy.org/science/biology/dna-as-the-genetic-material/dna-discovery-and-structure/a/discovery-of-the-structure-of-dna](https://es.khanacademy.org/science/biology/dna-as-the-genetic-material/dna-discovery-and-structure/a/discovery-of-the-structure-of-dna)
- [www.curriculumnacional/link/https://www.ucm.es/data/cont/medsa/www/pag56185/02-Estructura%20de%20los%20%C3%A1cidos%20nucl%C3%A9icos.pdf](https://www.ucm.es/data/cont/medsa/www/pag56185/02-Estructura%20de%20los%20%C3%A1cidos%20nucl%C3%A9icos.pdf)
- [www.curriculumnacional/link/https://es.khanacademy.org/science/biology/gene-expression-central-dogma/transcription-of-dna-into-rna/a/overview-of-transcription](https://es.khanacademy.org/science/biology/gene-expression-central-dogma/transcription-of-dna-into-rna/a/overview-of-transcription)