

PROMOCIÓN DE UNA CULTURA DEL PENSAMIENTO EN LA ASIGNATURA ESCOLAR DE BIOLOGÍA CELULAR Y MOLECULAR

PROMOTING A CULTURE OF THINKING IN THE SCHOOL SUBJECT OF CELLULAR AND MOLECULAR BIOLOGY.

César Piñones Cañete

Magister en Educación Ambiental por la Universidad de Playa Ancha.

Resumen

Con el objetivo de comunicar una innovación asociada a la enseñanza de la biología y la genética, el presente artículo sistematiza una experiencia pedagógica desarrollada entre marzo y agosto de 2023 con estudiantes de último año de secundaria de la ciudad de Salamanca, Región de Coquimbo, Chile. A partir de una secuencia didáctica fundada en una cultura del pensamiento, los y las estudiantes recuperaron conocimientos de biología celular y molecular. Además, el estudiantado desarrolló un pensamiento estratégico para su estudio a través de organizadores gráficos y prácticas argumentativas. Los resultados sugieren el logro de tipos de pensamiento profundos y movilizados de competencias científicas que pueden resultar inspiradores para otros/as educadores/as.

Palabras claves: innovación pedagógica, enseñanza de la biología, aprendizaje profundo, alfabetización científica, genética.

ABSTRACT

To communicate an innovation associated with teaching biology and genetics, this article systematizes a pedagogical experience implemented between March and August 2023 with high school seniors in Salamanca, Coquimbo Region, Chile. Students recovered cellular and molecular biology knowledge from a didactic sequence based on developing a culture of thinking. They produced and developed strategic thinking for their study through graphic organizers and argumentative practices. The results suggest the achievement of deep types of thinking that mobilized scientific competencies, which may inspire other educators.

Keywords: pedagogical innovation, biology teaching, deep learning, scientific literacy, genetics.

La pandemia de COVID-19 que enfrentamos recientemente fue definida por organismos internacionales como un golpe severo al funcionamiento de los sistemas educativos del mundo que provocó pérdidas de aprendizajes y oportunidades en la población escolar (Unesco, 2021). En el caso latinoamericano, Huepe et al. (2022) han subrayado que la pandemia no hizo más que profundizar la crisis de aprendizajes que por décadas se ha prolongado en la región, lo que deja en evidencia las profundas desigualdades y deudas en competencias cognitivas presentes a lo largo de la escolarización, problemáticas derivadas de factores estructurales de los países y de los métodos de enseñanza desplegados por los/as docentes (Furman, 2021). Particularmente, en el caso chileno, el Ministerio de Educación (Mineduc) ha instado a las comunidades educativas a perseguir una reactivación educativa en aspectos como la convivencia escolar y la salud mental, junto con el fortalecimiento de la lectura y escritura para revertir el rezago lector (Mineduc, 2023).

En este escenario, Unesco (2021) ha sido enfática en señalar que, una vez superada la pandemia, los y las estudiantes deberán contar con un apoyo educativo adaptado y recibir soportes para recuperar tanto el bienestar socioemocional como los aprendizajes escolares. Sin embargo, cabe preguntarse: ¿dicha restauración del bienestar se hará retomando las mismas lógicas institucionales con las que se

desarrollaba la enseñanza antes de la pandemia?; ¿gozaban de un genuino bienestar niños, niñas y adolescentes antes de la pérdida de presencialidad en los colegios?; ¿qué tipo de aprendizaje se buscará recuperar?; ¿de qué manera la lectura y la escritura pueden ser recuperadas y promovidas al atender las necesidades formativas del estudiantado y, de paso, desafiar sus contextos culturales?

Respecto de estas interrogantes, en un escenario educativo en clave pandémica, Maggio (2021) advierte las consecuencias negativas en el bienestar y aprendizaje de los y las estudiantes de la repetición de información o lo que ella denomina “educar a través de formas del pasado” (Maggio, 2021, p.24). Aquello, señala la autora, va en desmedro de la construcción de experiencias de aprendizaje en las que los y las estudiantes interpreten los conocimientos de manera crítica y creativa.

Por lo anterior, resulta pertinente considerar las reflexiones de Perkins (2003) acerca de la cultura escolar. Para dicho investigador, es recurrente encontrar en los aprendizajes de los y las estudiantes los efectos de un conocimiento frágil y pobre. El primero, entendido como aquel conocimiento que ha sido olvidado pese a su tratamiento en clases y también aquel saber que no es transferido a otras situaciones, encontrándose inerte. Este conocimiento frágil se caracteriza por presentar pautas monótonas y carentes de profundidad (conocimiento ritual), manifestándose en los/as estudiantes a modo de concepciones erróneas e ingenuas. Por su parte, el conocimiento pobre se muestra como incapaz de ser utilizado en acciones de pensamiento como la argumentación o la escritura.

Con las distinciones anteriores, dicho autor reafirma la necesidad de recuperar la visión de que “pensar con lo que se aprende es por cierto uno de los fines de la educación” (Perkins, 2003, p.39). Esta visión desafía el trabajo de docentes y educadores/as preocupados/as por la alfabetización científica de las sociedades latinoamericanas, las que adolecen de brechas educativas que ponen en jaque la construcción de sociedades democráticas, ambientalmente sostenibles y socialmente cohesionadas (Huepe et al., 2022). En tiempos en los que la complejidad y efectos de las interacciones ser humano-naturaleza y ser humano-tecnología profundizan sus impactos en los territorios y las tradicionales formas de concebir lo escolar se llenan de paradojas (Rivas, 2017), España y Prieto (2010) ven en el tratamiento escolar de problemas socio-científicos ricas oportunidades para desarrollar habilidades de pensamiento como la argumentación, actitudes

críticas, valores superadores del individualismo y, en definitiva, llevar al aula aspectos que influyen o influirán en la cotidianidad y toma de decisiones del estudiantado.

En el sistema escolar chileno, uno de los que mantuvo por más tiempo cerradas las escuelas, a juicio de diferentes actores educativos, se vive hace décadas una severa crisis de sentido que abarca desde el incumplimiento de promesas democráticas y de movilidad social, hasta el deterioro de la salud mental, las expectativas y la convivencia social de las comunidades escolares (Mayol, 2012; Troncoso, 2022; Ramos, 2022; De la Fuente, 2023). Teniendo a la vista tal escenario, cabe preguntarse si existen (aún) aperturas y posibilidades de pensar una enseñanza distinta y comprometida con un aprendizaje que nutra los proyectos vitales de los y las estudiantes desde una cultura del pensamiento (Furman, 2021); y que, pese a las tensiones existente en el currículum escolar, esta educación pueda ser promotora de una alfabetización científica con sentido crítico (Guerrero y Torre-Olave, 2021), empática con la situación educacional pospandemia (Troncoso, 2022) y desafiante, al menos modesta y muy puntualmente, de un relato histórico que, en Chile, ha reducido a la educación a una mercancía de consumo individual, despojándola de todo sentido cultural y colectivo (Mayol, 2012; Ramos, 2022).

En dicho contexto, la presente contribución tiene como objetivo divulgar entre la comunidad docente una innovación pedagógica concebida desde un enseñar que interpele a la matriz escolar tradicional (Rivas, 2017; Furman, 2021). Esta propuesta recoge aportes de diferentes enfoques promotores de un aprendizaje profundo, tales como el de tipos y hábitos de pensamiento (Ritchhart et al., 2019; Swartz et al., 2020), aprendizaje pleno (Perkins, 2010) y evaluación formativa (Anijovich y Cappelletti, 2021), entre otros. La innovación se llevó a cabo en el periodo pospandémico de retorno pleno a la presencialidad, en 2023, y en ella participaron escolares chilenos de la asignatura de Biología Celular y Molecular, ramo de reciente incorporación a la Formación Diferenciada Humanista-Científica para 3° y 4° Medio de la enseñanza secundaria (Mineduc, 2021). Específicamente, este artículo busca: a) describir el contexto de implementación y el esquema de decisiones pedagógicas ejecutado, b) discutir los impactos en los desempeños y aprendizajes alcanzados por los estudiantes y c) alentar la reflexión e innovación pedagógica para desafiar las lógicas reproductoras de aprendizaje inerte en ciencias.

Propuesta de implementación

Metodología

La experiencia se configuró como parte del trabajo final para la Especialización en Educación en Ciencias de la Universidad de San Andrés, Argentina, y también recogió las propuestas de enseñanza contenidas en la capacitación docente impartida por académicos de la Pontificia Universidad Católica de Chile, en el marco del proyecto Fondecyt de iniciación N° 11190469 "Hablar en Ciencias".

Se siguió un enfoque cualitativo bajo una lógica de exploración, descripción y obtención de conclusiones (Hernández et al., 2006), a partir de los hechos acontecidos en una interacción pedagógica sin antecedentes con un grupo muestral de 11 estudiantes de cuarto año medio, último nivel de escolaridad obligatoria en Chile. El grupo estuvo conformado por 5 varones y 6 mujeres entre los 17 y 18 años, estudiantes de una institución particular subvencionada en donde se imparten Educación Prebásica, Básica y Educación Media Humanista-Científico para alrededor de 300 estudiantes.

Previa información del proceso a seguir y con el consentimiento del grupo curso, la recolección de datos se realizó a partir de la triangulación de tres técnicas cualitativas de recolección de datos (Valles, 2003; Hernández et al., 2006). Específicamente, se realizaron conversaciones no estructuradas, observaciones participantes por parte de la dupla docente (profesor de la asignatura y educadora diferencial) y la elaboración de notas de campo condensadas. Dichas notas fueron tomadas tras las clases y la revisión de documentos, en este caso, de los desempeños realizados por cada estudiante en el cuaderno de la asignatura. Esta inspección se enmarcó bajo la mirada de la evaluación formativa (Förster, 2017; Anijovich y Cappelletti, 2021) y se valió de instrumentos como las listas de cotejo y la autoevaluación de los/as estudiantes vía protocolos de reflexión, así como también de un cuestionario autoaplicado que consideró como criterios distintos hábitos de pensamientos (Swartz et al., 2020) que fueron seleccionados con el devenir del proceso de enseñanza-aprendizaje.

Contexto de implementación

La experiencia se situó en la comuna de Salamanca, ubicada geográficamente en el Valle del Choapa, al sureste de la Región de Coquimbo, en el norte semiárido de Chile. Su vocación histórica orientada a la agricultura, ganadería familiar y pequeña minería, en las últimas décadas ha experimentado transformaciones sustantivas en su economía y patrones socioculturales debido al desarrollo megaminero y la industria agrícola de exportación (Sacre, 2017), lo que ha generado tensiones entre dicho modelo globalizador y la cultura arraigada a la tierra y sus ciclos (Fredes, 2018), junto con acarrear cambios en la representación del bienestar y en la orientación de la educación que reciben los y las estudiantes de la comuna de Salamanca (Sacre, 2017).

Contexto curricular

Lo sistematizado en este artículo abarca el periodo escolar comprendido entre marzo y agosto de 2023 para la asignatura de Biología Celular y Molecular. Dicha asignatura entró en vigencia en el año 2020 y posee cuatro unidades: 1) Comprendiendo la estructura y función de la célula, 2) Estudiando la versatilidad de las proteínas, 3) Analizando la relación entre expresión y regulación génica y 4) Analizando aplicaciones en biología celular y molecular. Además, el ramo tiene como objetivo:

El aprendizaje y la profundización de conocimientos de biología, junto con el desarrollo de habilidades y actitudes necesarias para entender y relacionarse con y en el mundo que los rodea, abordando problemas de forma integrada con base en el análisis de evidencia. Se espera que, al finalizar este curso, los estudiantes hayan profundizado en tópicos de biología celular, genética, biotecnología y procesos moleculares que los sustentan, lo que favorecerá su 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. Asimismo, se espera que valoren el estudio de la biología celular y molecular y su contribución a la calidad de vida de las personas, al bienestar social, al desarrollo del conocimiento científico y al cuidado del ambiente. Del mismo modo, se

pretende que desarrollen habilidades científicas como analizar, investigar, experimentar, comunicar y formular explicaciones con argumentos. Finalmente, se espera que asuman actitudes que les permitan abordar problemas contingentes de forma integrada, basándose en el análisis de evidencia y considerando la relación entre ciencia y tecnología en la sociedad y el ambiente. (Mineduc, 2021, p.23)

En consecuencia, los planteamientos didácticos de la asignatura se perfilan a través de, por un lado, 9 objetivos de aprendizaje asociados a habilidades científicas y, por otro, de 7 objetivos disciplinares en el campo de la biología celular y molecular con énfasis tanto en la genética como en la biotecnología (Mineduc, 2021). Lo descrito a continuación, se adscribe a la articulación entre la primera y cuarta unidad junto a la priorización de objetivos aprendizaje de dichas unidades.

Organización de la enseñanza

Se ideó un esquema de trabajo (véase Tablas 1 a la 3) que consideró los siguientes componentes en una secuencia didáctica:

- Tipos y hábitos de pensamiento (Ritchhart et al., 2019; Swartz et al., 2020), subyacentes a las interacciones clase a clase y promotores de principios de aprendizaje pleno (Perkins, 2010).
- Objetivos de aprendizajes curriculares del programa de estudio de la asignatura (Mineduc, 2021), articulados y priorizados a partir de círculos de comprensión (Wiggins y Mc Tighe, 2017; Furman, 2021).
- Objetivos de aprendizajes disciplinares, de habilidades y actitudinales formulados a partir de la priorización por círculos tanto de comprensión como de las necesidades del grupo observadas bajo el enfoque de aula heterogénea (Anijovich, 2019).
- Grandes ideas científicas relacionadas con los niveles de organización biológica, la estructura, la función y el uso en biotecnología del ADN (Harlen, 2015; Duncan et al., 2016).
- Habilidades de pensamiento engranadas con dichas ideas científicas, para relevar las dos caras de la ciencia (Furman y Podestá, 2011).

- Un enfoque de evaluación formativa promotor de aprendizajes y autonomía (Förster, 2017; Sanmartí, 2018; Anijovich y Cappelletti, 2021).

En relación con los tipos de pensamiento para lograr la comprensión (Ritchhart et al., 2019), la secuencia didáctica se planificó en torno a que los y las estudiantes pudieran:

- Aclarar prioridades, condiciones y sus conocimientos previos sobre la organización de los seres vivos.
- Establecer conexiones entre sus saberes previos y las temáticas abordadas en el curso tanto sobre la estructura como sobre la función del ADN.
- Captar lo esencial y llegar a conclusiones sobre la estructura, función y aplicaciones asociadas al ADN
- Razonar sobre las implicancias (por ejemplo, ventajas y desventajas) de los avances tecnológicos vinculados a clonación y edición del ADN, recurriendo a evidencias extraídas de distintas lecturas y material de apoyo (por ejemplo, videos y/o infografías).
- Tener diferentes puntos de vista sobre las controversias socio-científicas vinculadas con la ingeniería genética, a través de discusiones productivas en el aula que identifiquen y evalúen afirmaciones, suposiciones e incluso prejuicios.

Al atender tres objetivos de aprendizaje curricular presentes en el programa de estudio de la asignatura, se definió como objetivo general de la experiencia que los y las estudiantes pudieran comunicar sus aprendizajes sobre los niveles de organización biológica con énfasis en la estructura y función del ADN, así como también sus opiniones sobre controversias socio-científicas vinculadas a la edición genética. En base a las grandes ideas en ciencias propuestas por Harlen, (2015) y Duncan et al. (2016), se buscó como objetivos específicos disciplinares que los estudiantes comprendieran que:

- 1) Los organismos multicelulares tienen una organización estructural jerárquica, en la que cualquier sistema se compone de numerosas estructuras, las que en sí mismas son componentes del siguiente nivel.
- 2) Todas las células contienen información genética en forma de moléculas de ADN. Los genes son regiones en el ADN que contienen las instrucciones que codifican para la formación de proteínas.

- 3) El desarrollo del conocimiento de biología celular y molecular posee diversas líneas de investigación, construyéndose relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad.

En lo que respecta a las habilidades y actitudes del pensamiento, a modo de objetivos específicos se promovió que los y las estudiantes pudieran:

- 1) Analizar las relaciones entre las partes de un sistema en fenómenos y problemas de interés, a partir de lectura y comprensión de textos científicos, tablas, gráficos, diagramas y modelos.
- 2) Emitir juicios críticos a partir de conversaciones productivas entre pares, sobre las aplicaciones biotecnológicas en diversas áreas, como tratamientos para el cáncer, preservación y uso de células madre, y producción de organismos transgénicos, entre otros, y evaluar sus implicancias éticas, sociales y legales.
- 3) Trabajar con autonomía y proactividad en actividades colaborativas e individuales para realizar eficazmente el estudio de diversos aspectos de la genética.

Propuesta de implementación

El esquema de trabajo hasta aquí presentado permitió organizar la secuencia didáctica en tres momentos: a) marzo a abril, instalación de la propuesta (Tabla 1), b) mayo a junio, consolidar y ampliar lo logrado (Tabla 2) y c) julio a agosto, se expandió la experiencia formativa con nuevos repertorios de desempeños para los/as estudiantes (Tabla 3). A modo de andamios para propiciar los aprendizajes, la enseñanza se centró en facilitar el acceso a rutinas, técnicas y estrategias potenciadoras de sus capacidades de aprender y pensar, tales como: a) lectura y subrayado eficiente (Beas et al., 2003), y uso de organizadores gráficos (Ontoria et al., 2007; Swartz et al., 2020), b) impulso de una cultura del habla en base a rutinas de pensamiento (Ritchhart et al., 2019) y la facilitación de discusiones científicas productivas y argumentativas (Gómez-Zaccarelli et al., 2021), c) estructuras para la autoevaluación de procesos tanto en lo conceptual como en lo metodológico, como la V de Gowin (Förster, 2017), d) resolución de preguntas para pensar (Martens, 1999) junto con listas de cotejo y protocolos de metacognición, tanto individuales como para el uso en parejas (Anijovich y Cappelletti, 2021).

Lo anterior contó con una clase en formato mesa redonda en la biblioteca escolar, sustentada en una jerarquía de actualización (Mena y Valdés, 2008), en la que cada estudiante pudo sentarse viendo el rostro de los/as compañeros/as, teniendo acceso a los avances y desempeños registrados por cada persona en el cuaderno de la asignatura. Se creyó importante poner énfasis en este aspecto, dada la importancia que diferentes autores/as otorgan a los microclimas de aula (Mena y Valdés, 2008; Menéndez, 2020). Anijovich (2019), por ejemplo, indica que los espacios de trabajo fundados en buenas rutinas para la construcción de conocimientos, la colaboración y la participación, redundan en mayor autonomía, motivación y mejora en las percepciones de los/as estudiantes sobre sí mismos/as. Para Menéndez (2020) este tipo de decisiones deben ser prioritarias para el profesorado, con el propósito de garantizar la emergencia de contextos de aprendizaje seguros y motivadores. Con tal organización de la clase, se buscó trabajar sobre las partes difíciles y develar el juego oculto de la gestión del estudio en el grupo curso, en especial la referida al despliegue de hábitos y herramientas para la comprensión lectora, organización de textos científicos y comunicación en ciencias (por ejemplo, subrayado eficiente, uso de organizadores gráficos y redacción con conectores de discurso). Subyace a este marco operativo los principios del aprendizaje pleno (Perkins 2010), junto con un modelo de aprendizaje centrado en el esfuerzo (Perkins, 2003), buscando superar con ello la teoría de la huella que reduce el aprendizaje a las capacidades innatas e inmutables de los/as estudiantes.

Tabla 1

Primer momento de implementación del esquema de enseñanza. Marzo-abril de 2023

Objetivo curricular: "Explicar la estructura y organización de la célula, basada en biomoléculas, membranas y organelos, su reproducción, mantención y recambio, en procesos de metabolismo, motilidad y comunicación, como fundamento de la continuidad y evolución del fenómeno de la vida" (Mineduc, 2021, p.32).

Objetivo disciplinar: los organismos multicelulares tienen una organización estructural jerárquica, en la que cualquier sistema se compone de numerosas estructuras, las que en sí mismas son componentes del siguiente nivel.

Objetivo de habilidades: establecer conexiones entre saberes previos y las temáticas abordadas en el curso tanto sobre la estructura como sobre la función del ADN.

Objetivo actitudinal: trabajar con autonomía, proactividad y en colaboración con otros/as, para llevar a cabo el estudio de la asignatura.

| Tipo de pensamiento | Selección de ideas científicas | Habilidades de pensamiento | Actividades y desempeños |
|--|--|---|--|
| 1. Aclarar prioridades, condiciones y lo que se conoce. 2. Establecer conexiones. | 1. Todos los organismos están hechos de una o más células. 2. Dentro de las células existen muchas moléculas de distintas clases que interactúan para llevar a cabo las funciones celulares. 3. A menudo, las células se agregan formando tejidos; estos, formando órganos; y estos a su vez, sistemas de órganos. | Comprensión de textos científicos y la búsqueda de información. | 1. Subrayado eficiente de lecturas. 2. Identificación de términos clave vía glosarios. 3. Descripción con método Cornell y mapa temático. 4. Análisis con esquema para comparar y contrastar. 5. Revisión de ideas organizando fragmentos de textos. 6. Síntesis vía mapa mental. |

Recursos:

1. Lecturas seleccionadas sobre los niveles de organización de la materia, tanto en su dimensión abiótica como biótica (véase <http://www.curtisbiologia.com/niveles>).

2. Cuaderno de clases.

Autoevaluación:

1. Diagrama V de Gowin. 2. Resolución de preguntas productivas de razonamiento y para la acción. 3. Lista de cotejo con indicadores de trabajo en cuaderno.

Coevaluación: Aplicación de un protocolo entre pares.

Calificación: Revisión del cuaderno de cada estudiante.

Tabla 2

Segundo momento de implementación del esquema de enseñanza. Mayo-junio de 2023

Objetivo curricular: “Analizar críticamente el significado biológico del dogma de la biología molecular en relación con el flujo de la información genética en células desde el ADN al ARN y a las proteínas” (Mineduc, 2021, p.32).

Objetivo disciplinar: todas las células contienen información genética en forma de moléculas de ADN. Los genes son regiones en el ADN que contienen las instrucciones que codifican para la formación de proteínas.

Objetivo de habilidades: analizar las relaciones entre las partes de un sistema en fenómenos y problemas de interés, a partir de lectura y comprensión de textos científicos, tablas, gráficos, diagramas y modelos.

Objetivo actitudinal: trabajar con autonomía, proactividad y en colaboración con otros, para llevar a cabo el estudio de la asignatura.

| Tipo de pensamiento | Selección de ideas científicas | Habilidades de pensamiento | Actividades y desempeños |
|---|--|---|---|
| 1. Aclarar prioridades, condiciones y lo que se conoce. 2. Establecer Conexiones. 3. Captar lo esencial y llegar a conclusiones | 1. Dentro del núcleo de las células animales y vegetales hay estructuras llamadas cromosomas que guardan moléculas complejas de ADN. Un gen constituye un segmento de ADN y un cromosoma porta miles de genes. 2. La secuencia de los genes de un organismo se conoce como su genoma. A través del mapeo de genomas se aprende sobre la información genética. | Comprensión de textos científicos y la búsqueda de información. | 1. Exploración usando rutina ver-pensar-preguntarse. 2. Subrayado eficiente de lecturas. 3. Identificación de términos clave via glosarios. 4. Descripción usando esquema de llaves. 5. Síntesis por medio de: a) red conceptual, b) elaboración de resúmenes escritos usando conectores de discurso y c) construcción de Supernotas. |

Recursos:

1. Infografía ADN (véase https://www.explora.cl/blog/biblioteca_digital/curiosidades-del-adn/).

2. Sección sobre Información genética del primer capítulo del libro *La humanidad del genoma* (Kornblihtt, 2015). 3. Cuaderno de clases.

Autoevaluación:

1. Desarrollo de Diana de ponderación de actitudes.
2. Diálogos vía *tickets* de salida (Furman, 2021).

Coevaluación: Desarrollo participativo de un FODA.

Calificación: Revisión del cuaderno de cada estudiante.

Tabla 3

Tercer momento de implementación del esquema de enseñanza. Julio-agosto de 2023

Objetivo curricular:

1, “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” (Mineduc, 2021, p.32).

2. “Analizar aplicaciones biotecnológicas en diversas áreas, como tratamientos para el cáncer, preservación y uso de células madre, y producción de organismos transgénicos, y evaluar sus implicancias éticas, sociales y legales” (Mineduc, 2021, p.32).

Objetivo disciplinar: El desarrollo del conocimiento de biología celular y molecular, posee diversas líneas de investigación, construyéndose relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad.

Objetivo de habilidades: Emitir juicios críticos a partir de conversaciones productivas entre pares, sobre las aplicaciones biotecnológicas en diversas áreas, como tratamientos para el cáncer, preservación y uso de células madre, producción de organismos transgénicos, entre otros, y evaluar sus implicancias éticas, sociales y legales.

Objetivo actitudinal: Trabajar con autonomía y proactividad para llevar a cabo eficazmente el estudio de diversos aspectos de genética

| Tipo de pensamiento | Selección de ideas científicas | Habilidades de pensamiento | Actividades y desempeños |
|--|--|----------------------------|---|
| 1. Evaluar evidencia, argumentos y acciones. | 1. Una vez conocidas las secuencias de genes, se puede cambiar artificialmente el material genético para otorgar ciertas características a los organismos. | Argumentación | 1. Exploración usando rutina ver-pensar-preguntarse. 2. Subrayado eficiente de lecturas. |

| | | | |
|--|---|--|---|
| <p>2. Tener en cuenta diferentes puntos de vista y perspectivas.</p> | <p>2. En la terapia génica se usan técnicas especiales para incorporar genes a las células humanas que están comenzando a contribuir a la cura de algunas enfermedades.</p> | | <p>3. Identificación de términos clave vía glosarios.</p> <p>4. Descripción con esquema de llaves.</p> <p>5. Síntesis usando: a) red conceptual, b) resúmenes escritos usando conectores de discurso y c) construcción de Supernotas.</p> <p>6. Ejecución de discusiones científicas productivas.</p> |
|--|---|--|---|

Recursos:

1. Lecturas seleccionadas sobre enfermedades genéticas (véase <http://www.curtisbiologia.com/node/151>) y sobre controversia socio-científica asociada la edición genética (véase <https://www.comoves.unam.mx/numeros/articulo/246/edicion-genetica-en-humanos-la-gran-controversia>).
2. Videos sobre edición genética (véase video 1 ¿Podemos editar nuestros genes? <https://youtu.be/3i1czA1OEDE> / video 2 ¿Qué es el CRISPR? <https://youtu.be/FYRqK2rBWs4> / video 3 CRISPR-Así se editan los genes. <https://youtu.be/ZoE-G7YPvZQ>).
3. Cuaderno de clases.

Autoevaluación:

1. Tarjetas de salida.

Coevaluación:

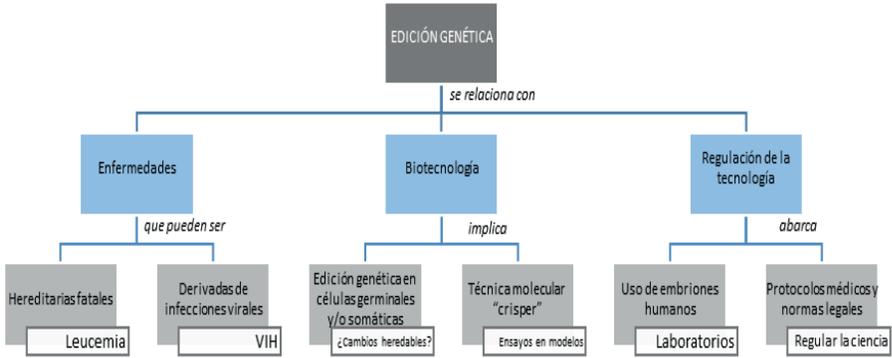
1. Escalera de *feedback* (observo-valoró-me pregunto-sugiero).
2. Protocolo Te pido prestado, te regalo...

Calificación: Revisión del cuaderno de cada estudiante.

Colocando una lupa en la hoja de ruta seguida para el tercer momento de la secuencia didáctica (Tabla 3), en la Figura 1 se presenta un mapa conceptual con los contenidos disciplinares en genética. Se consideraron las ideas científicas y la controversia socio-científica derivada de la edición genética descritas en Johnson y Raven (2004).

Figura 1

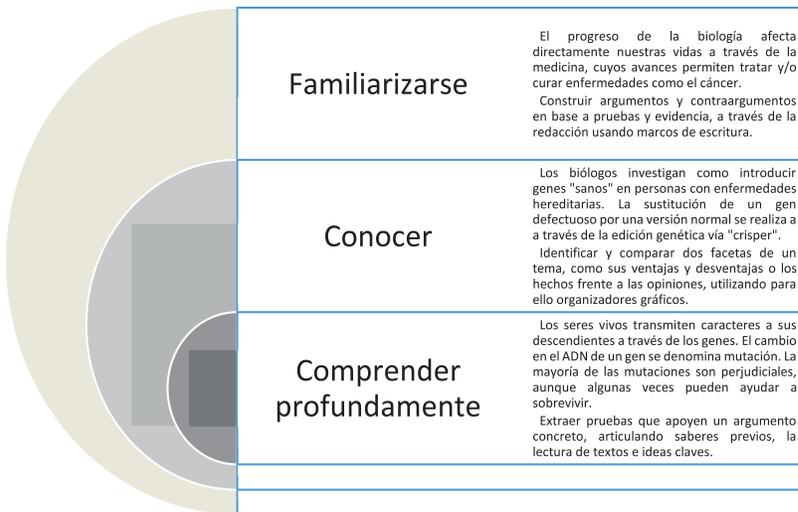
Mapa conceptual con contenidos y controversia en genética, para el momento 3 de la secuencia



El mapa conceptual se acompañó de un círculo de comprensión de priorización curricular (Wiggins y Mc Tighe, 2017; Furman, 2021), en el que se buscó atender la progresión de ideas científicas de Harlen (2015) y Duncan et al. (2016), además de la conceptualización que realizan Johnson y Raven (2004) sobre la presencia en el mundo cotidiano tanto de la biología como de la genética. En lo que respecta a las habilidades científicas, se consideró la argumentación en ciencias (Furman y Podestá, 2011; Gómez-Zaccarelli et al., 2021), vía discusiones productivas en el aula (Figura 2).

Figura 2

Círculo de comprensión con ideas científicas sobre genética y la habilidad de argumentación



¿Qué perfil adoptaron las clases bajo esta perspectiva de profundización en los aprendizajes? En la Tabla 4, se muestra una planificación de una clase promotora de discusiones científicas productivas en base al círculo de comprensión, la que fue desarrollada durante el mes de agosto y en la que los y las estudiantes revisaron los antecedentes sobre la controversia que genera la edición genética en humanos (Tabla 4).

Tabla 4

Planificación de una clase promotora de discusiones científicas productivas

| | |
|-------------------------------|--|
| Contexto | La ingeniería genética durante los últimos años ha sido portada en la prensa internacional tras la edición genética en embriones humanos. |
| Pregunta | ¿Podemos y/o debemos editar nuestros genes? |
| Objetivo de la clase | Que los alumnos puedan comunicar opiniones personales sobre la edición genética y sus implicancias, y contrastarlas con hechos y evidencia científica. |
| Tiempo | 1 clase de tres horas pedagógicas. |
| Recursos | Cuaderno del estudiante, reportaje sobre la edición genética en formato digital e impreso. https://www.comoves.unam.mx/numeros/articulo/246/edicion-genetica-en-humanos-la-gran-controversia y formato guía de anticipación. |
| Desarrollo de la clase | Inicio: Los/as estudiantes leen la pregunta guía de la clase y comparten ideas sobre la posibilidad de crear “metahumanos” más allá del cine de ciencia ficción. |
| | Desarrollo: Cada estudiante construye una guía de anticipación que presenta tres afirmaciones sobre la edición genética, para luego generar por escrito una opinión sobre estas, las que luego deben ser pesquisadas por medio de la lectura individual del reportaje sobre la edición genética. Destacan además hechos y datos (Figura 6). |
| | Cierre: Los/as estudiantes desarrollan el <i>ticket</i> de salida: Antes pensaba, ahora pienso... en relación con la edición genética. |
| Evaluación | Coevaluación de desempeños usando el protocolo Escalera de <i>feedback</i> . |

Resultados y discusión

Diagnóstico del oficio del/la estudiante previo a la experiencia

Durante el mes de marzo, se realizaron diálogos reflexivos en el aula (Anijovich y Cappelletti, 2021), en los que se solicitó a los/as estudiantes redactar una carta con expectativas para el año, destacando peticiones a los y las docentes con respecto al clima de aula, atención y compromiso a la hora de enseñar como también compromisos personales al logro de metas académicas. Seguidamente, se sostuvieron conversaciones no estructuradas sobre las formas de encarar el estudio de las asignaturas escolares. Las respuestas tuvieron los siguientes denominadores comunes: 1) deseos de superación de la monotonía en la experiencia de aprender, 2) expectativas de una buena relación docente-estudiante, 3) predominio de la lectura y desarrollo de guías con preguntas, 4) memorización previa para rendir pruebas con ítems y 5) toma de apuntes desestructurados. La presencia de estos aspectos descriptivos para el “oficio del estudiante” pueden ser interpretados a la luz de los hallazgos discutidos por Furman (2021), como huellas y hábitos adquiridos frente a clases con un protagonismo importante de lo transmitido por el/la docente y su recuperación a partir de diferentes acciones propias del esquema tradicional de la matriz escolar (Rivas, 2017), tales como pruebas tipo, en las que las rutinas asociadas a la cobertura curricular tienen un arraigo importante.

Los estudiantes señalaron que la situación no ocurría en todas las asignaturas, ni en todo el tiempo de un ramo, existiendo materias que, por su enfoque más práctico, eran menos estructuradas verticalmente (no era el caso de las asignaturas científicas). También los/as estudiantes reconocieron situaciones específicas dentro del tratamiento de una temática, en las que se daban instancias para el intercambio de ideas (por ejemplo, desarrollo de entrevistas a profesores/as, trabajo de laboratorio, desarrollo de trabajos en grupo). Sin embargo, los/as estudiantes mencionaron que estas actividades más abiertas no convocaban de igual manera a todo el estudiantado, debido a problemas de motivación, responsabilidad, organización del tiempo y compromiso. Estas opiniones fueron claves para perfilar una propuesta

que los invitara a construir, involucrarse y hacer visible sus aprendizajes, es decir, una experiencia que valiera la pena (Maggio, 2021).

En lo disciplinar, los diálogos revelaron el olvido o indiferenciación de los niveles jerárquicos de organización de la materia y la integración tanto de los componentes abióticos como bióticos en los seres vivos. Seguidamente, se develaron confusiones e información fragmentada sobre la estructura celular y genética, cuestiones que han sido profusamente documentadas en la literatura (Mengascini, 2006; Krüger y Santibáñez, 2021). Bajo la perspectiva del Síndrome de Conocimiento Frágil de Perkins (2003), en la Tabla 5 se sintetiza el diagnóstico resultante de los diálogos reflexivos.

Tabla 5

Caracterización de los aprendizajes previos de los estudiantes participantes de la experiencia

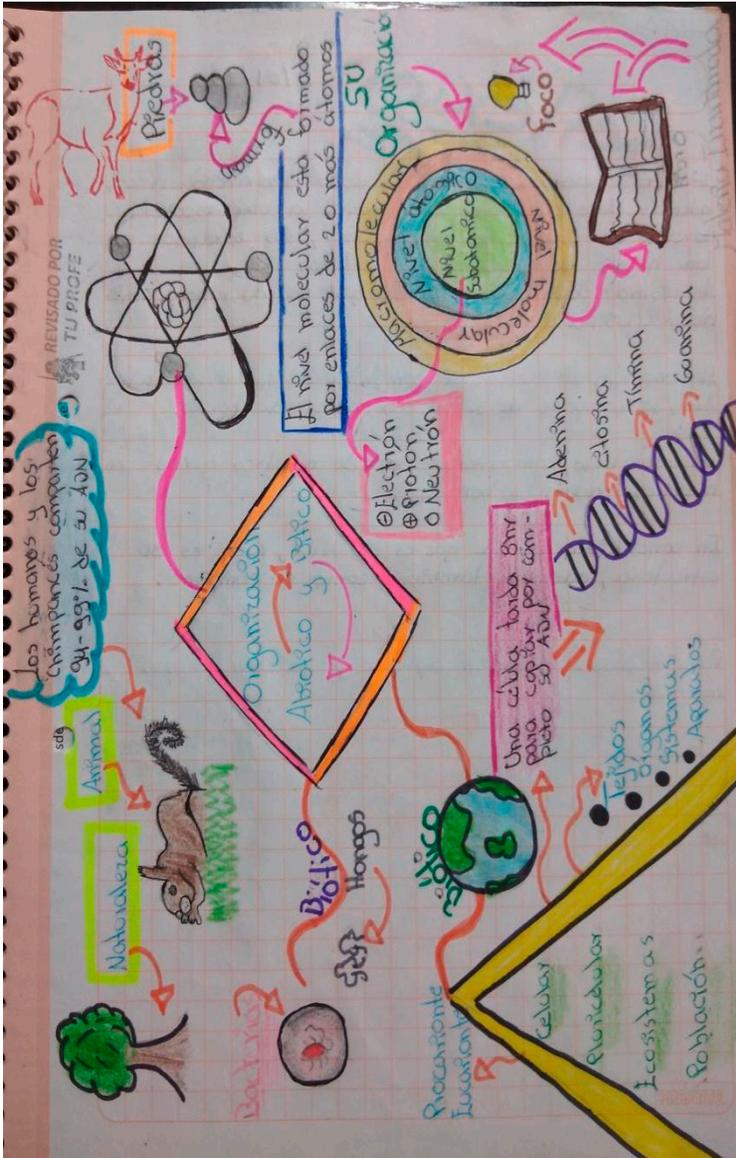
| Aspectos del conocimiento frágil | Manifestación del aspecto en los estudiantes |
|---|--|
| Conocimiento olvidado | En aspectos relacionados con Biología: olvido de la idea científica referida a la organización de la materia inerte y los seres vivos en niveles crecientes de complejidad. |
| Conocimiento inerte | En aspectos relacionados con Biología: recuerdo de la noción teórica de que los seres vivos están formados por células, pero incapacidad para aplicarlo a la observación/discusión sobre un ser vivo estudiado en clases (por ejemplo, una planta en una maceta). |
| Conocimiento ingenuo | En los aspectos de las habilidades de pensamiento: noción de que para entender algo, basta con leer y realizar un resumen libre con las ideas que serían relevantes de memorizar. |
| Conocimiento ritual | En los aspectos de las habilidades de pensamiento: habituación a un formato de clase en donde la comunicación de ideas se reduce a la respuesta escrita de guías sobre temas tratados por el docente. |

Apropiación de estrategias de estudio

Existe consenso sobre los beneficios para el aprendizaje que acarrea el trabajo con organizadores gráficos (Ontoria et al., 2007; Díaz y Hernández, 2010; Förster, 2017). Sin embargo, los/as estudiantes no son especialmente buenos/as, por ejemplo, desarrollando mapas conceptuales (Ritchhart et al., 2019). Al atender a esta realidad general, como a las recomendaciones del Mineduc para la recuperación de la lectoescritura, se articuló la incorporación de la lectura de textos científicos descriptivos (Espinoza et al., 2009) con actividades de expresión oral y escrita a través del uso de organizadores gráficos (Weissmann, 2014; Förster, 2017).

Siguiendo lo presentado y discutido por Díaz y Hernández (2010), se creyó oportuno realizar primero una presentación de distintos organizadores gráficos (por ejemplo, método Cornell, mapa temático, esquemas para comparar y contrastar, y mapa mental), para luego modelar su uso metacognitivamente, encaminando desde allí la práctica guiada y luego independiente, valiéndose para ello de la rutinas “¿Qué te hace decir eso?” y “Antes pensaba, ahora pienso...” (Ritchhart et al., 2019), las que fueron explicitadas desde el docente a los/as estudiantes recurrentemente como parte de la evaluación formativa clase a clase. Estos diálogos reflexivos en el aula permitieron que los/as estudiantes negociaran significados entre las ideas previas y los conceptos disciplinares (Ritchhart et al., 2019; Anijovich y Mora, 2021), lo que se materializó en una organización eficiente, sintética y con estilo propio de los contenidos disciplinares estudiados (Figura 3). Las dificultades subyacentes al trabajo en esta etapa se condicen con lo descrito por Espinoza et al. (2009) en relación con que la capacidad interpretar los textos expositivos pasa tanto por saber cómo funciona el sistema de escritura como también los saberes sobre el tema.

Figura 3
Mapa mental de los niveles de organización biológica



Por ello, el uso sistemático de los organizadores gráficos en clases que no se cerraban sobre sí mismas, sino que buscaban recurrentemente volver a remirar las producciones, facilitó la comprensión de conceptos y relaciones (Förster, 2017). Perkins (2003), al referirse al pensamiento

pobre, comenta sobre las evidencias que demuestran la conformidad que denotan los y las estudiantes tanto con la primera interpretación que obtienen al leer, como también al escribir un texto valiéndose de la estrategia de enunciar los conocimientos. Para el autor, ambas situaciones van también aparejadas a la incapacidad de explicar o defender puntos de vista de manera crítica. La revisión de los desempeños obtenidos durante los dos primeros momentos de la secuencia, la autoevaluación de los propios estudiantes vía protocolos, junto con las anotaciones de clases sobre hábitos y actitudes, se sintetizan en la Tabla 6.

Tabla 6

Caracterización de los logros y desafíos observados en los desempeños de los/as estudiantes

| Dimensión | Logros en lo disciplinar | Por mejorar con la práctica | Comentarios de los/as estudiantes |
|------------------|---|--|---|
| Disciplinar | <p>1. Se revitaliza y complejiza la idea científica de que la materia presenta niveles de complejidad creciente y que particularmente en los seres vivos se presenta dicha complejidad tanto en sus componentes abióticos como a partir del nivel vivo de célula.</p> <p>2. Se identifica con mayor precisión el ADN como una estructura molecular presente en todos los seres vivos, con una función específica y relevante a la hora de entender la herencia.</p> | <p>Fluidez en el uso de la terminología científica en la construcción sintáctica de ideas por escrito y oralmente.</p> | <p>“Considero que lo más importante que aprendí fue sobre los niveles de organización y sobre el ADN”.</p> <p>“En efecto, lo más importante que aprendí fue la importancia del ADN en las enfermedades de transmisión genética”</p> |

| | | | |
|-------------|---|---|--|
| Habilidades | 1. Se complejiza la construcción de ideas científicas a partir de la revisión de fuentes. | Capacidad de sintetizar con ideas propias. | “Personalmente me sirvió para comprender mejor lo que me rodea”. |
| Actitudes | 1. Mayor seguridad a la hora de decidir cómo encarar el estudio. 2. Valoración creciente del orden y rigurosidad como forma de trabajo en ciencias. 3. Incremento de la conciencia crítica de las limitaciones y fortalezas personales y del grupo curso. | Dar constancia a la toma de decisiones personales orientadas a la mejora académica. | “Lo más importante que aprendí fue a disciplinarme y a ordenarme para aprender acerca de algo”. “Estudiar no es necesariamente malo”. “Me sirvió para una mejor comprensión lectora en asignaturas como Historia y Lenguaje en las cuales se me hace más fácil seleccionar ideas de textos complejos”. |

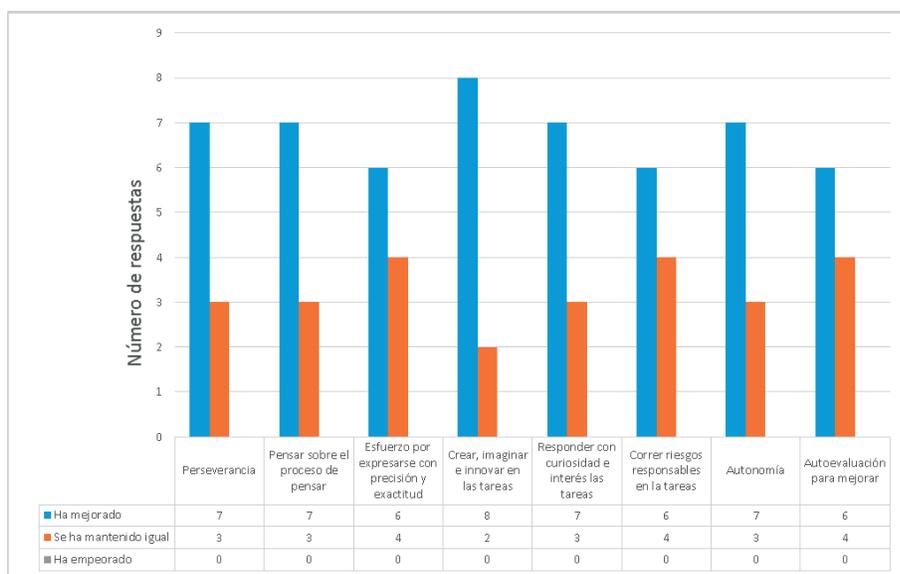
A sabiendas de que para generar autorregulación y autonomía en los y las estudiantes, no basta con la evaluación del docente, Neus Sanmartí (2018) plantea que

lo más importante es aprender a autoevaluarse. Para ello es necesario que los alumnos se apropien: de los objetivos de aprendizaje, de las estrategias de pensamiento y de acción aplicables para dar respuesta a las tareas planteadas; y de los criterios de evaluación. (p.53)

Por ello, al final del semestre (junio de 2023), los/as estudiantes respondieron un cuestionario de autoevaluación (Figura 4), basado en la matriz de hábitos de Swartz et al. (2020).

Figura 4

Autoevaluación de hábitos de pensamiento alcanzados entre marzo y junio de 2023



Los/as estudiantes percibieron mejoras o mantención de todos los hábitos evaluados, en relación con cómo iniciaron su estudio en la asignatura (Figura 4), destacando los impactos en la perseverancia, expresión de ideas de manera creativa y la autonomía a la hora de estudiar, aunque, por ejemplo, el uso de esquemas fue percibido como desafiante por el estudiantado. Estos resultados se condicen con la intensidad dada al uso de organizadores gráficos (por ejemplo, desarrollo de borradores, observación y discusión de desempeños de compañeros de otros niveles) y las aperturas otorgadas para su construcción (por ejemplo, uso del color, diseño, plazos de entrega y criterios de logro consensuados). En particular, el hábito en que gran parte de los/as estudiantes percibió mejora fue el de crear, imaginar e innovar en las tareas (Figura 5), con lo que podría sostenerse que el conjunto de estrategias desplegadas y el clima de aula lograron desafiar las prácticas rutinarias adquiridas, trabajando sobre las partes difíciles y develando el juego completo del estudio (Perkins, 2010).

Considerando que el argumentar en la clase de ciencias fue una nueva experiencia para los/as estudiantes, se entregaron andamios altos para la práctica de discusiones productivas en el aula (Gómez-Zaccarelli et al. 2021), por ejemplo, a través de guías de anticipación (Figura 6) y marcos de escritura (Figura 7), todos desempeños escritos. Esto último, a juicio de Swartz et al. (2020), proporciona la posibilidad de llegar a un pensamiento reflexivo, crítico y creativo que no es posible cuando las ideas se expresan solo de manera oral.

Figura 6

Guía de anticipación realizada para la temática de la edición de genes

24-07-23

REVISELO POR TU PROFE

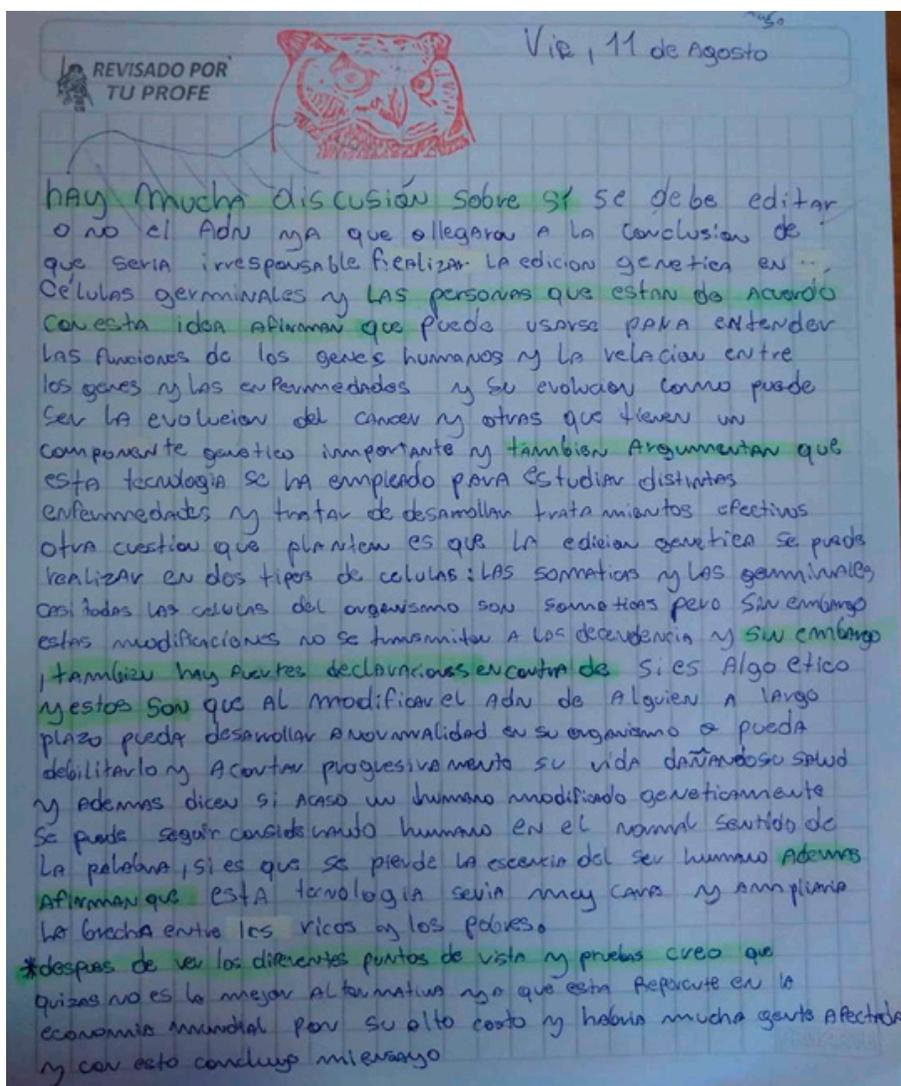
Guía de anticipación: 1° paso para actividad

| Afirmación | Lo que yo pienso | ¿o qué dice el texto? | ¿Por qué le llaman así desde el texto? |
|---|--|--|---|
| 1 La edición genética es un tema científico que genera acuerdos. | Yo pienso que es un tema que genera controversias, ya que cada científico tiene sus propios y puntos de vista distintos. | El texto en el acuerdo que se hizo en 2015 se menciona que es responsable realizar editores genéticos en células germinales para descubrir la patología de edición genética. | En 2015 se mencionó que los países de todo el mundo se comprometieron a no utilizar editores genéticos en células germinales para descubrir la patología de edición genética. |
| 2 La edición genética se usa como herramienta ya consensuada en medicina. | Yo pienso que aún no está lo suficientemente seguro para ser utilizado con tanta facilidad hasta que los científicos de la técnica hacen sus propios y puntos de vista con respecto a la edición genética. | El texto menciona que la edición genética es un procedimiento que se ha utilizado en la creación de embriones humanos siempre y cuando los donadores de los embriones y espermatocitos que se dan a la célula precursora legalmente en otros países de uso en ningún país se están utilizando legalmente en otros países ya que antes editados genes de embriones está prohibido para dar lugar a un bebé. | El documento menciona que los países de todo el mundo se comprometieron a no utilizar editores genéticos en células germinales para descubrir la patología de edición genética. |
| 3 Los países tienen normas ya dadas para estar nuevos tecnólogos. | Yo pienso que con los países que son nuevos tecnólogos, los países que son nuevos tecnólogos, los países que son nuevos tecnólogos. | El texto menciona que los países que son nuevos tecnólogos, los países que son nuevos tecnólogos. | El texto menciona que los países que son nuevos tecnólogos, los países que son nuevos tecnólogos. |

Si se adhiere a lo dicho por Perkins (2003) en relación a que “buen aprendizaje” es el producto del compromiso reflexivo del/la aprendiz con el contenido de la enseñanza, los desempeños en esta etapa no podrían haber resultado exitosos sin los momentos previos de la secuencia, en que los/as estudiantes generaron hábitos de pensamiento vinculados con la construcción de conexiones y la determinación de lo esencial para arribar a conclusiones. En otras palabras, los/as estudiantes desplegaron en esta etapa la “caja de herramientas” adquirida en los meses previos en pos de generar postura frente a uno de los debates actuales en genética, lo que a juicio Guerrero y Torre-Olave (2021) es una de las mayores oportunidades que ofrecen las nuevas asignaturas de ciencias naturales del currículum para enseñanza media o secundaria, las que tienen a la base la promoción de una alfabetización científica de carácter crítico. A modo de ejemplo, en la Figura 7 se puede leer un texto producido por uno/a de los/as estudiantes del curso, utilizando un marco de escritura con arrancadores de discurso (Gómez-Zaccarelli et al. 2021). Los criterios de evaluación de esta actividad fueron: 1) Capacidad de identificar hechos, evidencias y datos a favor y en contra del uso de la tecnología CRISPR en humanos y 2) Capacidad expresar por escrito opiniones personales sobre la edición genética.

Figura 7

Marco de escritura usando seis arrancadores de discurso (destacados en verde)



El progreso hacia una perspectiva crítica y estratégica en el pensar y hacer (Díaz y Hernández, 2010) posibilitó el desarrollo de coevaluación constructiva entre pares. Los comentarios expresados por los/as estudiantes, a partir de la resolución de la escalera de *feedback* (Furman, 2021), se ajustan al caso de coevaluación presentado por Sanmartí (2018),

en que los/as estudiantes logran tomar conciencia de las estrategias utilizadas en clases, la detección de dificultades a partir de un análisis profundo y la regulación cooperativa para mejorar (Figura 8).

Figura 8

Registro de coevaluación escrita entre estudiantes

PROTOCOLO ESCALERA DE RETROALIMENTACIÓN:

OBSERVO que tu opinión sobre la edición genética es...
Muy interesante, porque tiene conceptos distintos a los míos

VALORO que hayas mencionado en tu texto que la edición genética...
en algunos casos puede ser riesgoso por ser usado de modo inadecuado como utilizarlo para cambiar el color de ojos o de cabellos.

ME PREGUNTO si existen la posibilidad de que consideres además lo siguiente con respecto a la edición genética:
Qué puede ser una oportunidad para avances en enfermedades genéticas.

SUGIERO que puedas conocer estas ideas que en lo personal creo relevantes sobre la edición genética:
Además de avanzar en enfermedades genéticas, se pueden utilizar para otros beneficios como la clonación.

Aprendizaje de aspectos disciplinares de la genética

Lo anteriormente descrito permitió ir evaluando clase a clase los avances y dificultades en la apropiación de los aspectos disciplinares asociados al estudio de la biología celular y la genética. La retroalimentación sobre los desempeños de los/as estudiantes se centró en despejar confusiones conceptuales o ideas alternativas, muchas de las que ya han sido advertidas por parte de la literatura (Mengascini, 2006; Caballero, 2008; Íñiguez y Puigcerver, 2013; Krüger y Santibáñez, 2021), tales como la naturaleza celular de la organización de los seres vivos o la identificación de la estructura molecular del material genético y su localización en la célula eucarionte. Para ello se orientó la confección de glosarios de términos y el trabajo de revisión constante de borradores de los organizadores gráficos, entendiendo dichos borradores como dispositivos de mediación de significados.

Pese a esto, el total de los/as estudiantes siguió presentando impresiones e inseguridades en el manejo de los conceptos claves de la disciplina, evidenciándose dichas dificultades cuando debieron ponerlos en juego en otros escenarios, tales como la elaboración de

una descripción oral de sus organizadores gráficos o la redacción de un texto resumen sobre el esquema elaborado. Puede inferirse, por ello, complicaciones en la comprensión de los modelos que desde la genética y particularmente los libros escolares de la disciplina se plantean, tales como el modelo clásico de la función de gen y el modelo bioquímico, entre otros (Krüger y Santibáñez, 2021). Parte de estas dificultades se podrían atribuir también a las huellas del aprendizaje inerte en las trayectorias académicas de los y las estudiantes, como consecuencia del modelo tradicional de enseñanza de la biología (Íñiguez y Puigcerver, 2013). Seguidamente, estas imprecisiones o derechamente errores conceptuales también pueden interpretarse como una consecuencia de las dificultades observadas en la sintaxis tanto oral como escrita, cuestión que también ha sido advertida en el estudio de textos científicos a nivel escolar (Espinosa et al., 2009). Dado que en esta innovación se trabajó con estudiantes en su último año de escolaridad, la imposibilidad de seguir ahondando en mitigar estas trabas académicas se constituye como una limitación de la presente innovación. Sin embargo, estas constataciones abren nuevas interrogantes y oportunidades didácticas sobre cómo subsanar dichas debilidades conceptuales y de expresión de ideas científicas en estudiantes que arrastran rezagos en sus trayectorias académicas.

Conclusiones y proyecciones

La presente experiencia movilizó a un grupo de estudiantes de último año de secundaria en Chile a adquirir una serie de rutinas de pensamiento habilitantes para el ejercicio de su autorregulación y autonomía como estudiantes de biología. Para ello fue clave el enriquecimiento de su repertorio de desempeños, graduando su ejecución (transitando desde decodificación de textos de manera eficiente a la organización y evocación de ideas vía organizadores gráficos), profundidad (forjando el hábito del registro de ideas claves para la construcción de opinión oral y escrita) y alcance (desde la revisión de aspectos básicos de genética al análisis de controversias socio-científicas en el campo de la biotecnología). Fue clave para esto, no suponer que los/as estudiantes dominaban técnicas y hábitos de pensamiento por el solo hecho de estar en su último año de escolarización. Atender a las diversas trayectorias escolares pre y pospandemia a través de diálogos reflexivo, fue un reflector que iluminó las clases de la secuencia.

Con ello y gracias al consenso permanente de criterios de desempeños vía modelamiento y revisión de ejemplos, junto con la provisión de andamios y un buen clima de trabajo en formato comunidad de aprendizaje, los/as estudiantes superaron paulatinamente el esquema tradicional con el que preferentemente habían aprendido a encarar el estudio de las ciencias, migrando desde reproductores de información a creadores de propuestas de síntesis y opiniones propias. El proceso no estuvo exento de dificultades y retrocesos sobre todo asociados a problemas en el manejo de conceptos básicos de la biología celular y la genética, pero la priorización vía círculos de comprensión entregó holgura al tratamiento de las materias, dando tiempo para que el estudiantado pudiera asimilar la propuesta, complejizando su ecosistema de saberes y desempeños, tomando control gradual y estratégico de sus aprendizajes.

Si bien los resultados de esta innovación no son generalizables ni susceptibles de ser analizados estadísticamente, las proyecciones de este trabajo apuntan a transferir la riqueza de esta experiencia a otros niveles del sistema escolar chileno como octavo básico, primero y segundo medio, con miras a tratar tempranamente las dificultades en el manejo de conceptos de biología celular y genética. Dada la promoción en esta innovación de discusiones productivas sobre temas socio-científicos, emergen también como escenarios de aplicación, las otras asignaturas del currículum chileno con el perfil de alfabetización científica crítica (por ejemplo, Ciencias de la Salud y Ciencias para la Ciudadanía). ¿Cómo asimilarán y desplegarán los desempeños que conforman el repertorio de esta experiencia, estudiantes de menor edad y con diferentes trayectorias de vínculo con el aprendizaje? ¿Qué opiniones y puntos de vista surgirán de la lectura de controversias científicas? ¿Pueden articularse experiencias de aprendizaje en temáticas socio-científicas con profesores/as de las diferentes asignaturas? Estas son algunas de las preguntas a resolver con la expansión del perfil de la secuencia didáctica a otras materias.

En lo que respecta a la reflexión pedagógica, surgió la necesidad de comunicar la experiencia a pares docentes en espacios de intercambio dentro del propio establecimiento y a nivel nacional, concretándose esto último durante el mes de noviembre de 2023 en el Congreso de Experimentalidad Pedagógico-Curricular organizado por el Núcleo de Estudio Currículum, Conocimiento y Experiencia Escolar de la Universidad de Chile y el Centro de Experimentación Pedagógica de la Universidad Metropolitana de Ciencias de la

Educación (Congreso de Experimentalidad Pedagógico-Curricular, 2023). Se buscó con ello compartir algunos ejemplos de cómo encarar las nuevas asignaturas de ciencias naturales del currículum chileno, las que ofrecen retos para enseñar y aprender distinto y promover con ello alfabetizaciones en lectoescritura y en ciencias con sentido para los singulares contextos de las aulas chilenas, en particular, las más desfavorecidas y tensionadas por modelos culturales que fragmentan la humanidad de la escuela.

Referencias

- ANIJOVICH, R. (2019). *Gestionar una escuela con aulas heterogéneas. Enseñar y aprender en la diversidad*. Paidós.
- ANIJOVICH, R. Y CAPPELLETTI, G. (2021). *La evaluación como oportunidad*. Paidós.
- ANIJOVICH, R. Y MORA, S. (2021). *Estrategias de enseñanza. Otra mirada al quehacer en el aula*. Aique Educación.
- BEAS, J., SANTA CRUZ, J., THOMSEN, P. Y UTRERAS, S. (2003). *Enseñar a pensar para aprender mejor*. Ediciones Universidad Católica de Chile.
- CABALLERO, M. (2008) Algunas ideas del alumnado de secundaria sobre conceptos básicos de genética. *Enseñanza de las Ciencias*, 26(2), 227-243.
- Congreso de Experimentalidad Pedagógico-Curricular. (16 de noviembre de 2023). *Reconociendo la transformación educativa en curso*. <https://congreso.experimentalidadpedagogico-curricular.cl>
- DE LA FUENTE, A. (03 de julio de 2023). El desafío educativo chileno: los rostros detrás del drama de las escuelas. *El País*. <https://elpais.com/chile/2023-07-03/el-desafio-educativo-chileno-los-rostros-detras-del-drama-en-las-escuelas.html>
- DÍAZ, F. Y HERNÁNDEZ, G. (2010). *Estrategias docentes para un aprendizaje significativo: Una interpretación constructivista*. McGraw-Hill.
- DUNCAN, R., KRAJCIK, J. Y RIVET, A. (2016). *Disciplinary Core Ideas: Reshaping Teaching and Learning*. National Science Teachers Association (NSTA).
- ESPAÑA, E. Y PRIETO, T. (2010). Problemas socio-científicos y enseñanza-aprendizaje de las ciencias. *Investigación en la Escuela*, (71), 17-24.
- ESPOZOZA, A., CASAMAJOR, A. Y PITTON, E. (2009). *Enseñar a leer textos de ciencias*. Paidós.
- FREDES, A. (2018). *Percepciones de la ciudadanía de Salamanca sobre el impacto de la minera "Los Pelambres": Problemas ambientales, prácticas de mitigación y discurso de la minería sustentable* [Tesis de licenciatura]. Universidad de Valparaíso.

- FÖRSTER, C. (2017). *El poder de la evaluación en el aula. Mejores decisiones para promover aprendizajes*. Ediciones Universidad Católica de Chile.
- FURMAN, M. (2021). *Enseñar distinto. Guía para innovar sin perderse en el camino*. Siglo XXI Editores.
- FURMAN, M. Y PODESTÁ, M.E. (2011). *La aventura de enseñar ciencias*. Aique.
- GÓMEZ-ZACCARELLI, F., CANDIDO, N. Y CATIPILLÁN, P. (2021) *Estrategias y prácticas para la facilitación de discusiones productivas y argumentativas*. Material formativo Proyecto Fondecyt No. 11190469.
- GUERRERO, G.R. Y TORRES-OLAVE, B. (2021). Scientific literacy and agency within the Chilean science curriculum: A critical discourse analysis. *The Curriculum Journal*, 33(3), 1-17.
- HARLEN, W. (Ed.) (2015). *Trabajando con las grandes ideas de la educación en ciencias*. Red Global de Academias de Ciencia (IAP).
- HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. Y BAPTISTA, P. (2006). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill.
- HUEPE, M., PALMA, A. Y TRUCCO, D. (2022). *Educación en tiempos de pandemia: una oportunidad para transformar los sistemas educativos en América Latina y el Caribe*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). [Archivo PDF]. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/48204>
- ÍÑIGUEZ, F.J. Y PUIGSERVER, M. (2013). Una propuesta didáctica para la enseñanza de la genética en la Educación Secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10(3), 307-327
- JOHNSON, G. Y RAVEN, P. (2004). *Biología*. Editorial Holt, Rinehart and Winston.
- KORNBLIHT, A. (2015). *La humanidad del genoma: ADN, política y sociedad*. (1ª edición. 1ª reimposición). Siglo XXI Editores.
- KRÜGER, D. Y SANTIBÁÑEZ, D. (2021). Preconcepciones y obstáculos para el aprendizaje de la genética en H. Cofré, C. Vergara y Á. Spotorno (Eds.), *Enseñar evolución y genética para la alfabetización científica* (1ª edición, pp. 181-204). Ediciones Universitarias de Valparaíso.
- MAGGIO, M. (2021). *Educación en pandemia: Guía de supervivencia para docentes y familias*. (1ª edición). Paidós.
- MARTENS, M.L. (1999). Productive Questions: Tools for Supporting Constructivist Learning. *Science and Children*, 36(8), 24-53.
- MAYOL, A. (2012). *No al lucro. De la crisis del modelo a la nueva era política*. (2ª edición). Debate.
- MENA, I. Y VALDÉS, A.M. (2008). Clima social escolar. Valoras UC. [Archivo PDF]. <http://valoras.uc.cl/images/centro-recursos/equipo/FormacionDeComunidad/Documents/Clima-social-escolar.pdf>
- MENGASCINI, A. (2006). Propuesta didáctica y dificultades para el aprendizaje de la organización celular. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(3), 485-495.

- MENÉNDEZ, P. (2020). *Escuelas que valgan la pena. Historias para entender la educación del futuro*. Paidós.
- Ministerio de Educación [Mineduc]. (2021). *Programa de Estudio Biología Celular y Molecular 3° o 4° medio*. Unidad de Curriculum y Evaluación. Gobierno de Chile.
- Mineduc (2023). *Plan de Reactivación Educativa 2023*. República de Chile. [Archivo PDF]. <https://reactivacioneducativa.mineduc.cl/wp-content/uploads/sites/127/2023/01/Plan-Reactivacion-.pdf>
- ONTORIA, A., GÓMEZ, J.P.R. Y MOLINA, A. (2007). *Potenciar la capacidad de aprender y pensar*. (4^o edición). Narcea.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO]. (2021). *Misión: Recuperar la educación en 2021*. [Archivo PDF]. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000377496_spa
- PERKINS, D. (2003). *La escuela inteligente. Del adiestramiento de la memoria a la educación de la mente*. Editorial Gedisa.
- PERKINS, D. (2010). *El aprendizaje pleno. Principios de la enseñanza para transformar la educación*. Paidós.
- RAMOS, M. (Ed.). (2022). *Educación: La promesa incumplida. Esfuerzos, miedos y esperanzas de familias chilenas en el mercado escolar*. Catalonia.
- RIVAS, A. (2017). *Cambios e innovación educativa: las cuestiones cruciales*. Documento básico, XII Foro Latinoamericano de Educación. Fundación Santillana.
- RITCHHART, R., CHURCH, M. Y MORRISON, K. (2019). *Hacer visible el pensamiento. Cómo promover el compromiso, la comprensión y la autonomía de los estudiantes*. Paidós.
- SACRE, M. (2017). *Impactos socioculturales de la compañía Minera Los Pelambres en la comuna de Salamanca*. [Tesis de licenciatura]. Universidad de Valparaíso.
- SANMARTÍ, N. (2018). *10 ideas claves. Evaluar para aprender*. Graó.
- SWARTZ, R., COSTA, A., BAYER, B., REAGAN, R. Y KALLICK, B. (2020). *El aprendizaje basado en el pensamiento: Cómo desarrollar en los alumnos las competencias del siglo XXI*. Ediciones SM.
- TRONCOSO, J.L. (2022). ¿De vuelta a la normalidad? Análisis psicológico de la vuelta a clases en tiempos de postpandemia COVID-19. *Cuadernos de neuropsicología*, 16(1), 94-99.
- VALLES, M. (2003). *Técnicas cualitativas de investigación social. Reflexión metodológica y práctica profesional*. Síntesis Sociología.
- WEISSMANN, H. (2014). *Hablar, escribir y leer Ciencias Naturales. Primer ciclo primaria*. Santillana.
- WIGGINS, G. Y Mc TIGHE, J. (2017). *Enseñar a través de la comprensión: Modelo de diseño*. Editorial Trillas.

