

## Sistema termodinámicamente abierto, pero operacionalmente cerrado: una propuesta para la enseñanza integral de la célula

**Camilo Rojas-Valdivia**

Colegio Quellón, Chiloé

[camrvaldivia@gmail.com](mailto:camrvaldivia@gmail.com)

### Resumen

La teoría celular tiene una importancia central en la comprensión de fenómenos biológicos y, por lo tanto, en el currículo, sin embargo, se han encontrado múltiples dificultades en su aprendizaje, entre las que se encuentran la poca incorporación de la historia y la epistemología de la ciencia y el uso de representaciones inadecuadas de la célula. Para abordar estas dolencias, se ha diseñado una Unidad que, usando una mirada interdisciplinaria, permita contribuir a formar una imagen menos parcelada de la célula, dando cuenta de su complejidad, y haciendo uso de múltiples estrategias evaluativas y metacognitivas para promover que permanezca en el tiempo.

**Palabras clave:** enseñanza de la célula, historia de la biología, propuesta didáctica, evolución de la vida.

### Introducción

A pesar de la importancia central que tiene la teoría celular para articular la comprensión sobre conceptos y fenómenos biológicos, su enseñanza adolece de no lograr que los estudiantes expliquen el carácter vital de la célula, confundan sus tipos y no reconozcan sus estructuras ni sus clasificaciones (Santamaria, Llanos, Cortés, et. al, 2012). Algunas causas para esto son el uso de textos escolares con imágenes simplificadas (Santamaria et. al, 2012) y representaciones artísticas cuyos objetivos no quedan claros en los textos ni en las prácticas docentes, y que además tienden a generalizar, originando representaciones que no se condicen con las obtenidas a través de procedimientos instrumentales (Opsina-Quintero & Galagovsky, 2017). A esto debe sumarse que la historia del desarrollo de la biología celular se aborda sólo en algunos niveles educativos (Carrillo, Morales, Pezoa, et. al, 2011), evidenciando la necesidad de incorporar más aspectos de su historia y epistemología (Rivera-Gómez, 2016).

Por otra parte, la termodinámica suele abordarse a nivel escolar asociada la termoquímica, sin realizar mayores vinculaciones con sus implicancias para las ciencias biológicas, aun cuando las interpretaciones termodinámicas de la vida han ido tomando importancia, como en la teoría termodinámica de la evolución biológica o la búsqueda de una definición de vida a partir de su relación con la entropía (Rabanal, 2019; Arbaiza-Escalante & Piscoya-Hermosa, 2019). Estas visiones interdisciplinarias resultan interesantes en cuanto desde el 2020 se implementa en Chile la asignatura de formación diferenciada Biología Celular y Molecular, que dentro de sus objetivos incluye vincular dicha disciplina con otras, como la química, física y matemática, realizar explicaciones sobre la estructura y función de la célula desde su historia evolutiva, analizar críticamente el dogma central de la biología molecular, y analizar el desarrollo del conocimiento de la biología celular junto a sus aplicaciones biotecnológicas (Mineduc, 2019). Cumplir con todos ellos requiere de una visión integral

que sea capaz de articular los conocimientos sobre la célula que aportan diversas disciplinas, incluyendo la epistemología, la historia e incluso la filosofía de la ciencia. Así, el Objetivo de este trabajo es crear una Unidad Didáctica de la asignatura de formación diferenciada Biología Celular y Molecular, para la enseñanza de la biología celular a partir de su historia, epistemología y cruces interdisciplinarios.

### **Planificación**

Esta Unidad está diseñada para ser utilizada en el electivo de Biología Celular y Molecular con estudiantes de III° y IV° Medio, relacionándose fuertemente con el Objetivo de Aprendizaje 1 y pudiendo vincularse con el 2. Se incorpora visiones desde distintas disciplinas científicas, como la termodinámica, la evolución y la biología molecular, todas articuladas alrededor de su impacto en el desarrollo del conocimiento sobre la célula como unidad funcional y estructural de la vida. Clase a clase se realiza como evaluación formativa la confección de una bitácora, en la cual se deben realizar, de manera individual, un resumen y una reflexión durante los últimos diez minutos de la clase, como estrategia para estimular la metacognición. Además, las reflexiones se socializan para armar una grupal.

Así, las clases 1 y 2 son destinadas a la historia de la termodinámica y a desarrollar los conceptos de máquina, energía y entropía, su relación con la espontaneidad de las reacciones químicas y las implicancias para el metabolismo celular. Además, se incorpora la idea de la autoconstrucción de la célula como característica que la diferencia de las cosas no vivas, permitiendo caracterizarla como operacionalmente cerrada, de acuerdo a los criterios propuestos por Razeto-Barry y Ramos-Jiliberto (2013). Como recursos para aclarar conceptos, especialmente el de entropía, se utilizan videos de divulgación científica como los de TED Education o QuantumFracture.

Las clases 3 y 4 se dedican a investigar y luego exponer, en parejas, sobre las teorías del origen y evolución de la vida, considerando la hipótesis de Oparin-Haldane; el experimento de Miller y Urey; la hipótesis del mundo ARN; la disputa sobre la generación espontánea entre Pasteur y Pouchet; el Last Universal Common Ancestor (LUCA); y la teoría de endosimbiosis seriada. Las investigaciones se centran en distintos aspectos de la naturaleza de la ciencia, como su carácter social y su variación a través del tiempo. Cada dupla debe exponer su tema, y realiza coevaluación con las demás.

Luego, en las clases 5 y 6 se revisan las distintas teorías evolutivas, partiendo por la de selección natural de Darwin, considerando sus antecedentes y contexto histórico, para luego revisar la teoría sintética y otras como la teoría neutral y casi-neutral. Se introduce además el concepto de complejidad en biología, vinculándola con la evolución y permitiendo abordar brevemente la teoría termodinámica de la evolución. Para apoyar estas clases se utiliza el simulador PhET de selección natural.

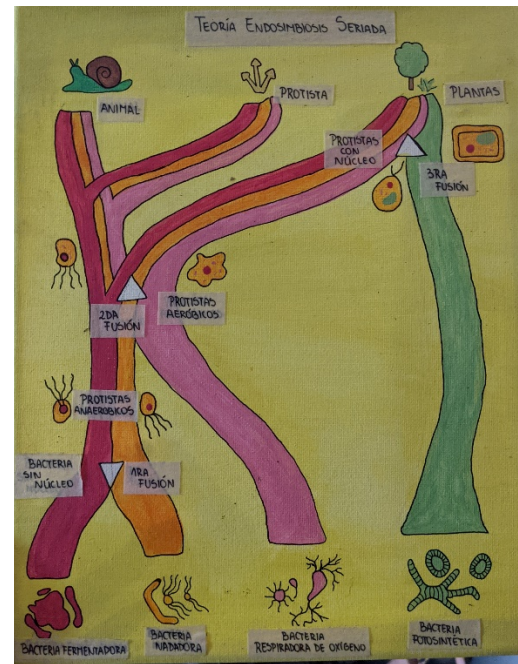
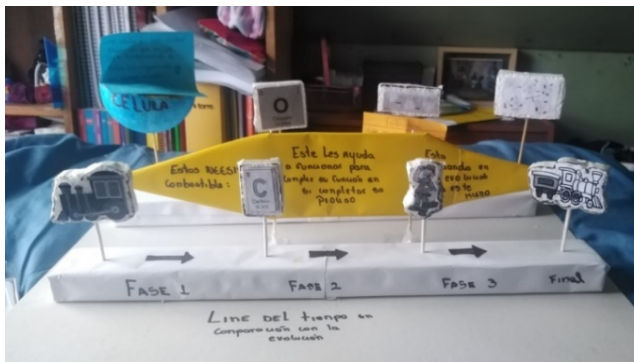
En la clase 7 se enfatiza la importancia de la comunicación para el conocimiento científico, y que, si bien el formato más extendido actualmente corresponde al artículo científico, también puede incluir otros medios. Por esto, se instaurará como evaluación sumativa la creación de un producto artístico, en la que informen de los aprendizajes construidos a lo largo de la Unidad y que será evaluado utilizando una rúbrica.

## Implementación

La Unidad está diseñada para ser utilizada en la asignatura de formación diferenciada Biología Celular y Molecular, y se aplicó en un establecimiento particular subvencionado rural, en un grupo que incorpora a estudiantes de III° y IV° Medio en modalidad presencial. Las clases tienen una duración de tres horas pedagógicas de 40 minutos, dando un total de 120 minutos por clase. No se requiere equipo de laboratorio, pero sí acceso a Internet o a otros medios con los que se pueda realizar una investigación bibliográfica, además de proyector para las presentaciones y videos y, de manera ideal, un laboratorio de computación para que los estudiantes puedan trabajar con el simulador.

## Resultados y Conclusiones

Los trabajos finales presentados dan cuenta de la comprensión alcanzada por los estudiantes respecto al aporte que realizan diversas disciplinas al conocimiento actual de la biología celular y la vida, como se aprecia en las Figuras 1 y 2, donde se consideraron diversos elementos como las analogías trabajadas en clases, las teorías revisadas o los contextos históricos en que se desarrollaron diversos avances.



**Figura 1.** Izquierda: Maqueta representando las similitudes y diferencias entre una célula y una máquina a vapor. Derecha: Cuadro representando las incorporaciones endosimbióticas propuestas por Lynn Margulis (Fuente: Elaboración del autor y de sus estudiantes).



**Figura 2.** Cómics sobre la vida y obra de Marie Tharp, escogida por su importancia en descubrir la dorsal que hoy aparece como una de las posibles cunas de la vida (Fuente: Elaboración del autor y de sus estudiantes).

En la bitácora las reflexiones tendieron a valorar la construcción histórica del conocimiento científico, así como a destacar el rol de las mujeres en ella y denunciar su constante invisibilización. Algunas de las reflexiones fueron:

Me interesa el tema de la entropía, creo que es un poco complicado, pero que chiste tiene lo fácil ☺. Me da mucho enojo la historia de Marie Tharp (feminismo modo on) pues confirma que, desde la antigüedad, aunque la mujer fuera un ser de luz (inteligencia) solo veían a una mujer, eso es algo ilógico, absurdo, considerando que muchos grandes aportes fueron hechos por ellas, científicas infravaloradas que abrieron los ojos de la ciencia a nuevas fronteras. (Estudiante 1)

Fue una clase interesante al ver cómo ha avanzado las distintas ideas que tenía la gente acerca del origen de la vida y cuánto ha cambiado a día de hoy. (Estudiante 2)

Comprendí que la evolución participa en la mayoría de las cosas por ejemplo en la investigación de la evolución muchos historiadores no hallaron una respuesta concreta o una manera de probar sus teorías, pero sus esfuerzos no fueron en vano ya que fueron los pilares de las siguientes y siguientes generaciones que buscaron y encontraron el origen de la evolución. (Estudiante 3)

El origen de la vida pasó por varios filósofos y científicos todas con teorías diferentes, las cuales iban cambiando dependiendo la época en la que se encontraban, generación diferentes, cada uno con un tipo de pensamiento y creencia que influiría mucho en como creen que fue el origen de la vida. (Estudiante 4)

A partir de los resultados, se consideran como puntos a destacar el énfasis que hace la Unidad en científicas que son comúnmente menos reconocidas por los estudiantes, como Marie Tharp, Lynn Margulis y Tomoko Ohta, además del valor que se le otorga a la historia de la ciencia y a la construcción histórica del conocimiento científico. Además, la posibilidad de escoger qué tipo de trabajo presentaran en la evaluación sumativa fue recibida positivamente por los estudiantes. Una de las debilidades de la Unidad es la superficialidad con que se tratan

algunos temas de complejidad elevada, como el aspecto matemático de la entropía en la biología o las teorías neutral y casi-neutral de la evolución molecular, pero el docente que la aplique debe considerar que su objetivo no es profundizar en dichas temáticas, sino que servir de introducción y contextualización a la riqueza del conocimiento científico construido alrededor de la célula. Finalmente, se sugiere que, en caso de que la Unidad se aplique en modalidad híbrida o a distancia, se busquen estrategias que permitan retroalimentar oportunamente los trabajos, especialmente la confección de la bitácora.

## Bibliografía

- Arbaiza-Escalante, L. & Piscocoya-Hermosa, L. (2019). Nueva definición de “vida”. La “vida es una reacción en cadena que acumula anti-entropía. *Tesis*, 12(15). <https://doi.org/10.15381/tesis.v12i15.18822>
- Carrillo, L., Morales, C., Pezoa, V. & Camacho, J. (2011). La historia de la ciencia en la enseñanza de la célula. *Tecné, Episteme y Didaxis*, (29), 112-127.
- Mineduc, (2019). Bases curriculares 3° y 4° medio. Chile: Ministerio de Educación. Recuperado de [https://www.curriculumnacional.cl/614/articles-91414\\_bases.pdf](https://www.curriculumnacional.cl/614/articles-91414_bases.pdf)
- Ospina-Quintero, N. & Galagovsky, L. (2017). La célula modelizada. Una reflexión necesaria en el ámbito de la enseñanza. *Química Viva*, 16(2), 41-63.
- Rabanal, J. (2019). Contribución a la teoría termodinámica de la evolución biológica. *Momento* (58). <https://doi.org/10.15446/mo.n58.66345>
- Razeto-Barry, P. & Ramos-Jiliberto, R. ¿Qué es autopoiesis? En: Autopoiesis, un concepto vivo, 27-57. Editorial Nueva Civilización: Santiago de Chile.
- Rivera-Gómez, D.A. (2016). Propuesta didáctica para la enseñanza del concepto célula a partir de su historia y epistemología. *Tecné, Episteme y Didaxis*, (extraordinario), 900-907.
- Rueda-García, K. (2018). Propuesta didáctica para integrar las ciencias naturales en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la reproducción celular [Tesis de Magister, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Universidad Nacional de Colombia.
- Santamaría, L.M., Llanos-Tobar, L.D., Cortés-Marín, M.E., Martínez-Blandón, G.A., Urrea-Aguirre, M.N., Betancourt-Sepúlveda, C., Galindo-Castaño, H. & Del Río-Trujillo, D.F. (2012). Obstáculos epistemológicos en la enseñanza del concepto de célula. *Investigium Ire*, 3(3), 38-52.

## Anexos

Todo el material utilizado, incluyendo PowerPoint, guías de trabajo y rúbricas de evaluación puede encontrarse en el sitio web <https://unidadbiologia.wordpress.com/> o escaneando el siguiente código QR:

