

La modelización del origen de la célula eucariota en la formación del profesorado en biología. Aspectos vinculados a una visión gradualista.

Modeling the origin of the eukaryotic cell in biology teacher training. Aspects linked to a gradualist vision.

Modelando a origem da célula eucariótica na formação de um professor de biologia. Aspectos ligados a uma visão gradualista.

Álvarez Soria Joaquín¹²

Lozano Eduardo¹³

Resumen

En el marco de una línea de investigación orientada por la perspectiva de la enseñanza basada en la modelización, que además integra la formación disciplinar y metacientífica, se presentan resultados preliminares de la implementación de una Unidad Didáctica para la enseñanza del origen de la célula eucariota en una materia de Introducción a la Biología de un profesorado universitario. En la modelización inicial que llevaron a cabo los y las estudiantes, se pudieron advertir dos líneas explicativas consistentes con las visiones gradualista y endosimbiótica que pugnaron en la comunidad científica a mediados del siglo XX. En esta comunicación se presentan resultados de un aspecto particular del proceso de modelización llevado a cabo cuando, los y las estudiantes debían pensar y explicar el origen de los pliegues de membrana característicos del modelo gradualista para dar cuenta de la formación de las organelas de la célula eucariota. Las explicaciones que produjeron los grupos de estudiantes implicaron la aplicación de algunos modelos biológicos aprendidos con anterioridad y la producción de análogos concretos que fueron consistentes para definir el rol central que tuvo el desarrollo del citoesqueleto en el proceso analizado.

Palabras clave: modelización, origen de la célula eucariota, gradualismo, profesorado en biología

Abstract

Within the framework of a line of research guided by the perspective of teaching based on modeling, which also integrates disciplinary and meta-scientific training, we have preliminary results of the implementation of a Didactic Unit for teaching the origin of the

¹ Centro de Estudios e Investigación en Educación (CEIE). Universidad Nacional de Río Negro (UNRN)

² jasoria@unrn.edu.ar

³ elozano@unrn.edu.ar



eukaryotic cell within the teaching of the subject 'Introduction to Biology', included in an university professorship. In the initial modeling carried out by the students, two explanatory lines can be announced that are consistent with the gradualist and endosymbiotic visions that prevailed in the Scientific community around the mid-20th century. In this statement we can see the results of a particular aspect of the modeling process, when students had to think and explain the origin of the characteristic membrane folds of the gradualist model to account for the formation of organelles of the eukaryote cells. The explanations produced by the groups of students involved the application of different previously learned biological models and the production of specific analogs that were consistent in defining the central role that the development of the cytoskeleton had in the analyzed process.

Keywords: modeling, origin of the eukaryotic cell, gradualism, professor of biology

Resumo

No quadro de uma linha de investigação orientada pela perspectiva do ensino baseado na modelação, que integra também a formação disciplinar e metacientífica, apresentam-se os resultados preliminares da implementação de uma Unidade Didática para o ensino da origem da célula em uma disciplina de Introdução à Biologia de um professor universitário. Na modelagem inicial realizada pelos alunos, puderam ser observadas duas linhas explicativas condizentes com as visões gradualistas e endossimbióticas que combatiam na comunidade científica em meados do século XX. Nesta comunicação, são apresentados resultados de um aspecto particular do processo de modelagem realizado quando os alunos tiveram que pensar e explicar a origem das dobras de membrana características do modelo gradualista para dar conta da formação de organelas celulares. As explicações produzidas pelos grupos de alunos envolveram a aplicação de alguns modelos biológicos previamente aprendidos e a produção de análogos concretos que foram consistentes na definição do papel central que o desenvolvimento do citoesqueleto teve no processo analisado.

Palavras-chave: modelagem, origem da célula eucariótica, gradualismo, professor de biologia

Introducción

La enseñanza de las ciencias basada en la modelización (Izquierdo, 1999; Adúriz Bravo, 2012; Gilbert y Justi, 2016), la educación metacientífica desde la perspectiva "naturaleza de la ciencia" (Lederman, 2006) y la integración de la modelización disciplinar y metacientífica en la formación del profesorado (Lozano, 2015) constituyen directrices actuales en el campo de investigación en enseñanza de las ciencias naturales. Por su parte, el origen de la célula eucariota (OCE) es un tema central en los estudios sobre biología evolutiva, y los análisis



históricos y epistemológicos que abordan los diferentes modelos propuestos, dan cuenta de un campo activo de discusiones, en el que se debaten visiones teóricas, se desarrollan significativas controversias y se producen consensos, lo que configura un escenario de un gran potencial disciplinar y metacientífico para la enseñanza de la biología (Franz Lang, 2014; Álvarez Soria y Lozano, 2019).

El diseño, implementación y evaluación de unidades didácticas (Sanmartí, 2002) dinamiza las investigaciones en la línea a la cual se adscribe este trabajo⁴, que implican la integración de la modelización disciplinar y metacientífica a partir de la formulación de actividades que dan lugar a una tracción entre esos ejes de la formación (Lozano, et al. 2020; Lozano, et al. 2021).

La unidad didáctica (UD) diseñada tuvo como objetivo que los y las estudiantes construyan modelos teóricos más robustos para comprender y argumentar sobre el OCE como proceso clave en la evolución de la vida en nuestro planeta, y también para aplicarlos a hechos científicos actuales y de interés hacia los que esos modelos pueden extenderse para su comprensión (Calfee & Matthay 2010). El objetivo general de la investigación fue el de describir, analizar, categorizar y comprender los procesos de modelización disciplinar y metacientífica llevados a cabo por los y las estudiantes.

La implementación de la UD implicó, en primera instancia, la contextualización de la problemática del OCE para que el inicio de la modelización fuese significativa por parte de los y las estudiantes. Para ello:

- Se recuperó una "línea de tiempo" que se había construido al inicio del cursado de la materia Introducción a la Biología, sobre la "historia de la vida en la Tierra", con las edades de la aparición de las primeras bacterias y las primeras células eucariotas.
- Se recuperaron modelos ya construidos en clase sobre los dos planes celulares: procariota y eucariota y los aspectos básicos de cada uno.
- Se hizo explícito que, para dar cuenta del OCE, al interior de la comunidad científica se ha consensuado la hipótesis que explica su origen a partir de bacterias preexistentes.

Luego de recuperadas esas ideas y contextualizada la problemática, se presentó la consigna que inició la UD y que permitió la modelización inicial sobre el OCE: *"Piensen, discutan y construyan un modelo gráfico, acompañado de textos, explicando con el mayor detalle posible: ¿Cómo consideran que fue el proceso que, a partir de bacterias existentes, llevó a*

⁴ En el marco de la elaboración de una Tesis de Maestría en Enseñanza de las Ciencias Naturales.



la formación de las primeras células eucariotas y sus diferentes organelas hace aproximadamente 2000 millones de años?"

En la **Figura 1** se presenta una síntesis de la UD que integró la modelización disciplinar y metacientífica y sus vinculaciones. En esta comunicación se muestra el análisis de las producciones llevadas a cabo en la etapa de la modelización intermedia de la UD, en la cual se generó una problematización sobre el origen de los pliegues de membrana a partir de los modelos iniciales de los y las estudiantes.



Esquema de la UD. Vinculaciones entre la modelización disciplinar biológica (amarillo), metacientífica (azul) y se indica el objeto de esta comunicación (verde).

Metodología

Este trabajo se inscribe en la línea “modelos y modelización” en el campo de investigación en didáctica de las ciencias naturales (Gilbert y Osborne, 1980), orientado al diseño, implementación y evaluación de UD's, en el marco de la Actividad Científico Escolar (ACE) (Sanmartí, 2002). La perspectiva metodológica para la búsqueda y análisis de los datos, que se da en el contexto natural de las clases en las que se enseña la materia Introducción a la Biología en la formación inicial del profesorado, se inscribe en la tradición



cuantitativa (Taylor, 2014) y está orientada a la comprensión de los procesos de modelización por parte de los y las estudiantes. La UD se implementó en las últimas semanas de cursado de la materia. El análisis de los modelos para este estudio se hizo sobre las producciones de 6 grupos de trabajo, conformados en su totalidad por 33 estudiantes. Las unidades de análisis fueron gráficos y textos escritos, y grabaciones de audio de las discusiones llevadas a cabo al interior de los grupos en el momento de la actividad, y un video de una entrevista posterior. Con esos materiales se llevó a cabo el proceso de análisis y categorización.

Resultados y discusión

En el análisis de los modelos iniciales, construidos a partir de la consigna que disparó la UD, se pudo advertir que había dos estrategias explicativas. Por una parte, la que daba cuenta del OCE a partir de cambios producidos en una bacteria, y otra que implicaba interacciones o fusiones de bacterias (**Tabla 1**).

Tabla 1

Categorías de análisis de los modelos iniciales y algunos aspectos incluidos en las explicaciones de los grupos (El grupo 6 formuló dos modelos, A y B)

Explicaciones basadas en cambios producidos en una bacteria. Grupos: G2- G4- G5- G6A	Explicaciones basadas en la interacción entre bacterias. Grupos: G1- G3- G6B
El OCE es el resultado de la “subdivisión”, “fraccionamiento”, “fusión” o “evaginación” de la membrana plasmática; o una serie de “mutaciones” que dieron lugar a ellas y que se dan en una bacteria.	El OCE es el resultado de la “unión”, “fusión”, “convivencia” de diferentes bacterias.

Estas dos estrategias explicativas se hacen consistentes con visiones teóricas, gradualistas y endosimbióticas que, en la segunda mitad del siglo XX, explicaron el OCE, y generaron fuertes controversias y debates teóricos en la comunidad científica (Álvarez Soria y Lozano, 2020). Desde esta perspectiva y una vez presentados los modelos eruditos (Sagan, 1967; Robertson, 1970), los y las estudiantes pudieron, de manera razonable, asimilar modelos “basados en cambios producidos en una bacteria,” como por ejemplo el de la **Figura 2**, a una visión gradualista y, modelos “basados en la interacción entre bacterias”, a una visión endosimbiótica como se muestra en la **Figura 3**.



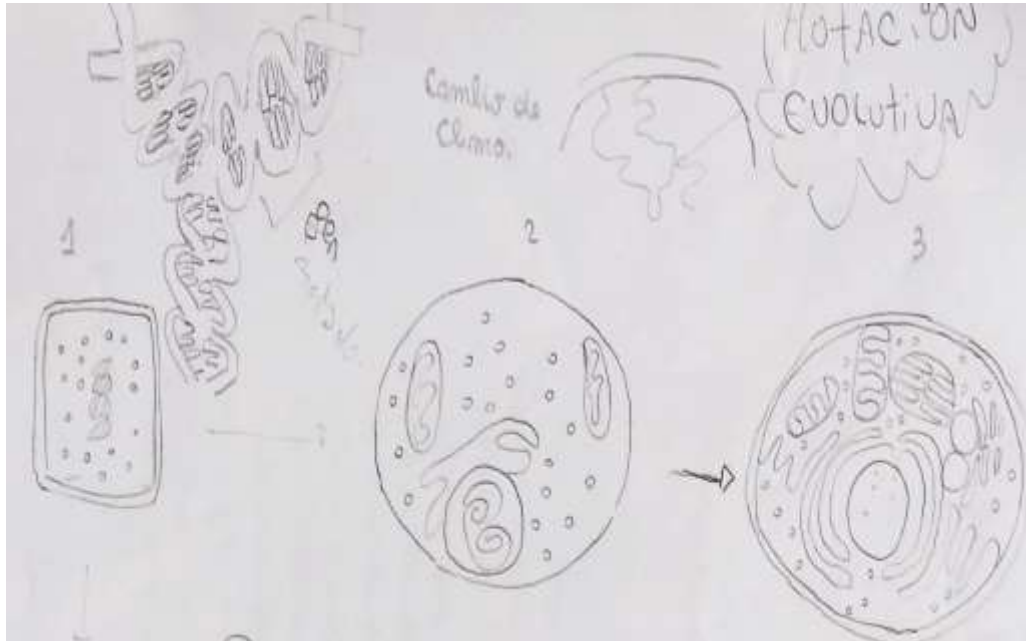


Figura 2. Mediante una secuencia de tres pasos explican el proceso del OCE, en cambios producidos en una sola bacteria.

Discusiones sobre el origen de los pliegues de membrana

Luego de una puesta en común, en la cual se compartieron y discutieron los modelos iniciales construidos, se pudo advertir que las explicaciones “de corte gradualista” de algunos de los grupos que expresaron “explicaciones basadas en cambios producidos en una bacteria” (G2; G4; G5 y G6A), daban por sentado que el OCE implicó transformaciones en

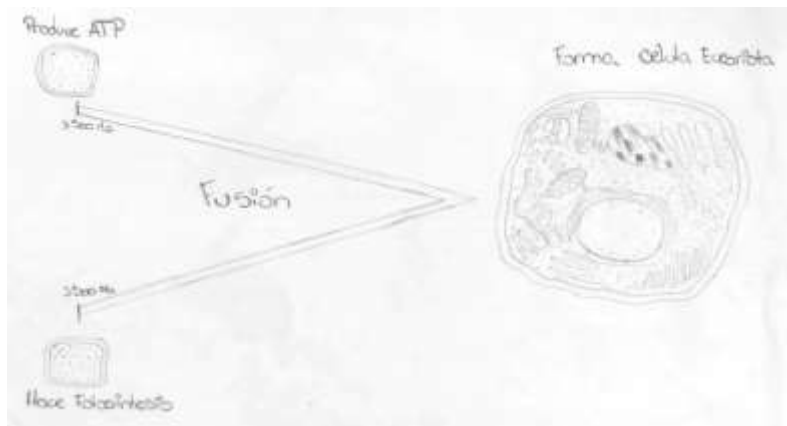


Figura 3. Explican la formación de la célula eucariota a partir de la fusión de dos bacterias



Bio-ponencia

la membrana celular de una bacteria, sin explicar el modo en el que se pudiera haber desarrollado ese hecho. Por ejemplo, los grupos 2 y 6A, hacen referencias a mutaciones, sin especificar cómo operan las mismas sobre los pliegues de membrana, y los grupos 4 y 5, explican que la membrana de una bacteria se "subdivide", "fracciona", "fusiona" o "invagina", sin especificar cómo lo hacen. Para derivar la modelización hacia esta cuestión, se problematizó respecto del origen de los pliegues de membrana que formaron las organelas.

Este nuevo problema teórico, que constituyó un nuevo desafío para el grupo de clase, lo fue también para la comunidad científica que a fines de siglo XX se encontraba abocada a la investigación del OCE. Por ejemplo, de Duve (1996), expuso un modelo consistente para explicar que, el proceso gradual de formación de orgánulos, implicó la presencia de un complejo de proteínas especializadas que estructuraran la arquitectura celular y permitieran los pliegues de membrana en procesos celulares clave como la fagocitosis (**Figura 4**).

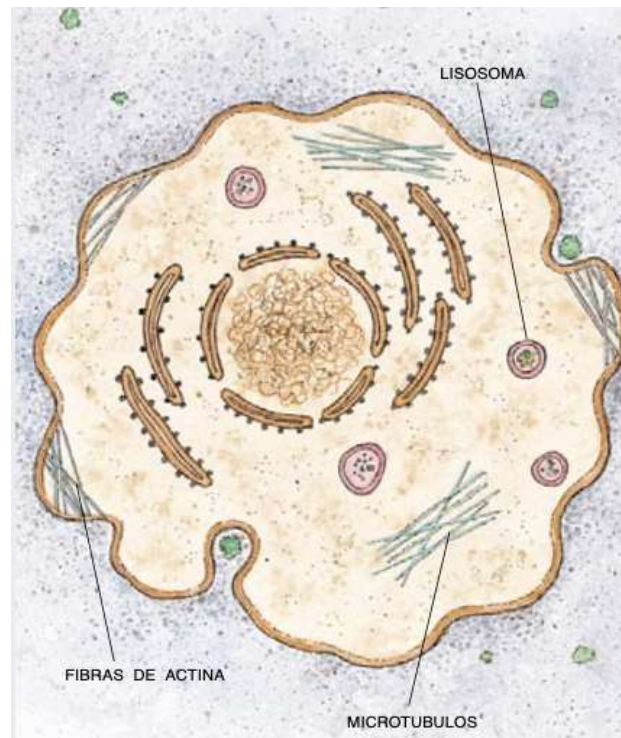


Figura 4. Modelo propuesto por de Duve. Implicancias del citoesqueleto en la producción de pliegues de membrana (de Duve, 1996, p.21)

La modelización de los pliegues de membrana

Puestos a explicar el origen de los pliegues de membrana, los y las estudiantes fueron estimulados a recuperar problemas y modelos que se plantearon a lo largo del cursado de la materia, y que pudieran implicarse en la resolución de esta nueva problemática. En la **Tabla 2** se muestran los resultados de este trabajo al interior de cada grupo.

Tabla 2

Explicaciones sobre el origen de la transformación de la membrana

Número de grupo	Problemas/modelos implicados por los grupos para dar cuenta del fenómeno de los pliegues de membrana
1-6 AB	No lograron especificar modelos para el fenómeno analizado.
2 - 3	Vincularon el modelo de fluidez de membrana y la formación de pseudópodos como los utilizados por una ameba.
4	Consideraron que el citoesqueleto cumplía un rol pero no lo definieron con claridad.
5	Trajeron un modelo de expresión génica que de alguna manera “logra modificar las membranas” para producir los pliegues.

En la puesta en común, los grupos compartieron las discusiones que se habían llevado a cabo. Las relaciones que establecieron con la formación de pseudópodos se consideraron como las más apropiadas y fueron adoptadas por el resto de la clase. Al discutir sobre qué estructura celular “dirigía” el sentido de la formación de los pseudópodos, establecieron relaciones con las explicaciones que consideraban al citoesqueleto.

A partir de estas discusiones, se les ofrecieron a los y las estudiantes, diferentes materiales (telas elásticas, alambres maleables, globos de diferentes tamaños, plastilinas, unidades de plásticos encastrables) mediante los cuales pudieran representar el fenómeno de los pliegues de membrana que, según las explicaciones de tipo gradualista, habían formado las organelas de la célula eucariota. Al finalizar esta actividad, todos los grupos pudieron construir análogos concretos que, de manera consistente, explicaban el aumento de la superficie de la célula bacteriana y la producción de pliegues membrana. Se presenta como ejemplo en esta comunicación, la producción del grupo 2, presentado en formato audiovisual (**Figura 5**).

La membrana plasmática se representa mediante una tela marrón elástica. Con un alambre de metal, que se encuentra enrollado previamente en el interior de la tela, se representa el



citoesqueleto. Como el alambre es de consistencia blanda, un estudiante modifica paulatinamente la forma del mismo, estirándolo por diferentes zonas mientras se encuentra dentro de la tela y, de esa manera, dan cuenta de la formación gradual de evaginaciones e invaginaciones y de los pseudópodos. Además, el grupo modeliza la expresión del ADN en subunidades de proteínas, que se arman y desarman en estructuras de citoesqueleto. Para ello, decidieron utilizar las piezas de plástico "encastrables" que se encuentran en la figura al costado derecho de la tela marrón.



Figura 5. Transformaciones en la membrana de una bacteria producidas por el citoesqueleto.



Conclusión

A partir del análisis de las producciones llevadas a cabo por los y las estudiantes, en la secuencia desarrollado en la modelización intermedia (**Figura 6**), se considera que:

- El diseño de la UD les permitió pensar teóricamente sobre un aspecto particular de la visión gradualistas del OCE.
- El estudio histórico epistemológico asociado al diseño de la UD (Alvarez Soria y Lozano, 2020) ofreció elementos clave para esta etapa de la modelización intermedia, como el modelo propuesto por de Duve.
- El problema del origen de las transformaciones de la membrana permitió el desarrollo de un proceso de modelización que implicó la construcción de un análogo concreto y que, de manera consistente, permitió explicar este aspecto del OCE desde una visión gradualista.

- La modelización dio lugar a que pudieran recuperar y aplicar algunos modelos abordados a lo largo del cursado de la materia a una nueva problemática.

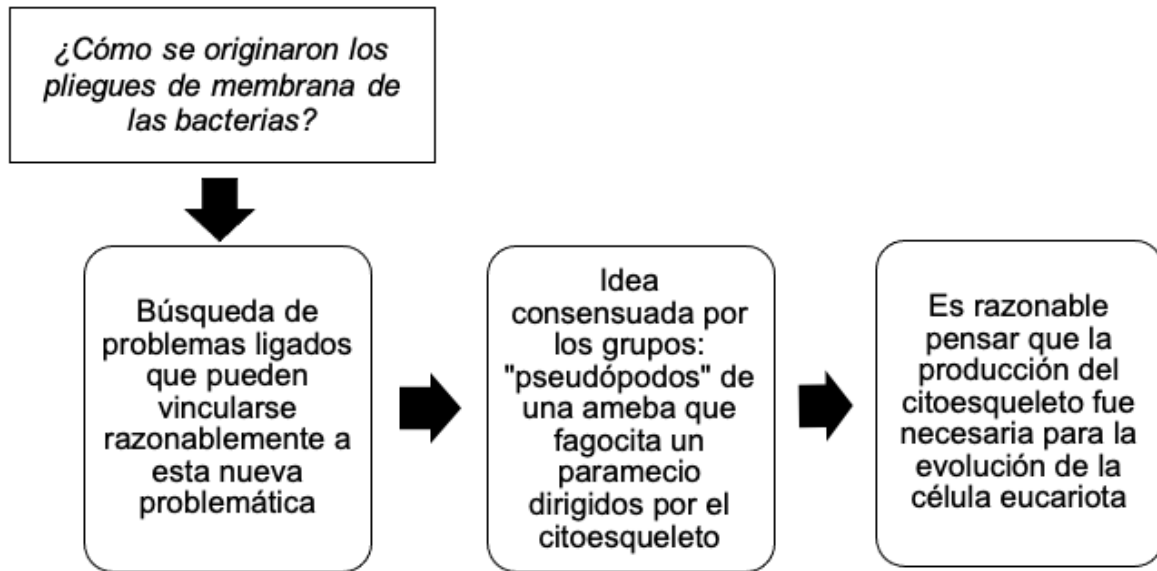


Figura 6. Modelización intermedia de la UD. Secuencia referida al origen de los pliegues de membrana

Se considera importante continuar profundizando en esta línea de investigación orientada a la modelización de fenómenos por parte de los y las estudiantes y a la integración disciplinar y metacientífica.

Referencias

- Adúriz-Bravo, A. (2012) A semantic View of Scientific Models for Science Education. *Science & Education*. Published online: 15 January 2012. Springer. 22(7), 1593-1611.
- Calfee, C. S., & Matthey, M. A. (2010). Culprits with evolutionary ties. *Nature*, 464(7285), 41-42.
- De Duvé, C. (1996). El origen de las células eucariotas. *Investigación y ciencia*, (237), 18-26.

- Gilbert, J.; Osborne, R. (1980) The use of models in science and science teaching. *European Journal of Science Education*, London, 2(1). 3-13.
- Gilbert, J. K., & Justi, R. (2016). Modelling-based teaching in science education (Vol. 9). Basel, Switzerland: Springer international publishing, 17-40.
- Izquierdo, M., Espinet, M., García, M. P., Pujol, R. M., & Sanmartí, N. (1999). Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), 45-59.
- Lang, B. F. (2014). *Mitochondria and the origin of eukaryotes*. Endosymbiosis. Springer, Vienna, 3-18.
- Lederman, N. G. (2006). Research on nature of science: reflections on the past, anticipation of the future. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 7 (1), 2-12.
- Lozano, Eduardo E. (2015). Diseño, implementación y evaluación de una unidad didáctica para la enseñanza de modelos de membrana celular en la formación biológica del profesorado, con aportes de ideas metacientíficas provenientes del eje naturaleza de la ciencia. Asociación de Docentes en Ciencias Biológicas de la Argentina; *Revista de Educación en Biología*; 18 (2); 76-79
- Lozano, Eduardo; Adúriz Bravo, Agustín; Bahamonde, Nora. (2020). Un proceso de modelización de la membrana celular en la formación del profesorado en Biología en la universidad. *Ciência & Educação*. Bauru, 26, 1-15.
- Lozano, E. E., Cremer, M. C., Mut, P. N., & Bahamonde, N. (2021). Diseño, implementación y evaluación de una unidad didáctica que integra modelización biológica y metacientífica a partir de un hecho sociocientífico en la formación del profesorado. *Bio-grafía*, 14(27), 20-20.
- Robertson, D. (1970). *La membrana de la célula viva*. En Villanueva, J. R (Ed.) La célula viva. Selecciones de Scientific American. Madrid: Blume. Original en inglés de 1965, 75-83.
- Sagan, L. (1967). On the origin of mitosing cells. *Journal of theoretical biology*, 14(3), 255-274.



Sanmartí, N. (2002). *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria*. Madrid: Síntesis Educación.

Soria, J. Á., & Lozano, E (2019). Análisis histórico-epistemológico preliminar sobre el modelo de endosimbiosis para enseñar biología celular y naturaleza de la ciencia al profesorado. *Jornadas de Epistemología e Historia de la Ciencia*, 89-97.

Taylor, P. C. (2014). Contemporary qualitative research: Toward an integral research perspective. *Handbook of Research on Science Education, Volume II*. Routledge, 52-68.

