



Análisis histórico-epistemológico preliminar sobre el modelo de endosimbiosis para enseñar biología celular y naturaleza de la ciencia al profesorado

Joaquín Álvarez Soria*

Eduardo Lozano*

Los estudios con enfoque histórico epistemológico (EHE) en el campo de la enseñanza de las ciencias

En las investigaciones que llevamos a cabo, y para colaborar con el diseño de propuestas de enseñanza integradoras de aspectos disciplinares de la biología y de contenidos metacientíficos (Lozano et al., 2016, 2018), realizamos estudios desde una perspectiva histórico-epistemológica (Matthews, 1994; Adúriz Bravo, 2010), que dan lugar a la adopción de una postura metacientífica explícita en el proceso de enseñanza y también articulada con la propia naturaleza de los modelos a enseñar.

Por una parte, estos estudios se enfocan en las variables internas de la dinámica de la producción de los modelos científicos abordados, de aquí que pueden considerarse estudios “internalistas”, y los análisis producidos, de orden epistemológico, permiten describir y comprender aspectos del desarrollo de los modelos, la estructura que sostiene las vinculaciones entre el modelo teórico y las parcelas de realidad que explica, las tensiones, la dinámica argumentativa de los ajustes teórico-empíricos realizados en el tiempo, entre otros aspectos (Giere, 1988/1992, Adúriz Bravo, 2012). Además, los EHE proporcionan información sobre las circunstancias históricas y también sobre los contextos de pensamiento en que surgieron los modelos teóricos y permiten describir y analizar el devenir que los modelos han tenido hasta su estado de actual consolidación (Kuhn, 1977/1996; Orozco, 1992).

En el marco de este enfoque, y en función de diseñar una unidad didáctica para la enseñanza del modelo de endosimbiosis para la materia: Introducción a la Biología, de una carrera de Profesorado de Nivel Medio

* Centro de Estudios e Investigación en Educación (CEIE), Universidad Nacional de Río Negro (UNRN).
jasoria@unrn.edu.ar

y Superior en Biología, desarrollamos un estudio que permitió abordar las siguientes preguntas: ¿Cómo fue la génesis, evolución y desarrollo del modelo de endosimbiosis? ¿Qué dificultades, obstáculos, y discusiones aparecieron en su producción y en qué contextos se dieron? Dichas preguntas se formulan con el objetivo de identificar episodios históricos que ofrezcan ideas, materiales, recursos, analogías, enfoques y también textos que contextualicen, que sirvan como escenario para ambientar la discusión sobre determinados temas metacientíficos a enseñar, pertinentes a esos episodios y consideradas de interés para la formación de los futuros profesores en biología.

La metodología utilizada para estos estudios implica un relevamiento exhaustivo de fuentes primarias y secundarias, y también de otros estudios calificados, que ofrezcan una versión consistente y robusta de la historia y evolución del modelo científico abordado.

Periodización preliminar

El modelo de endosimbiosis, desde finales del Siglo XIX hasta la actualidad, se ha estructurado alrededor de la siguiente cuestión: tratar de determinar qué tipo de implicancias tuvieron los antepasados bacterianos en el origen y evolución de la célula eucariota. Las investigaciones y las controversias en torno a esta problemática se dieron en diferentes momentos y contextos teóricos y tecnológicos, y esto ha posibilitado caracterizar tres períodos, en los casi 150 años de desarrollo.

a) Primeras aproximaciones teóricas sobre endosimbiosis

Las primeras investigaciones sobre endosimbiosis fueron formuladas por científicos que trabajaron en diferentes disciplinas, tanto en Europa como en Estados Unidos (Margulis, 2002; Sapp, 2014). El botánico francés Andreas Schimper (1856-1901) y el ruso Andrei Sergeivich Famintsyn (1835-1918), investigaban en el campo de la fisiología vegetal y se encontraban interesados particularmente en las células y sus cloroplastos. En un contexto en el cual se afianzaba la teoría celular (Baker, 1952; Harris, 2000) y se discutía la recientemente formulada teoría darwiniana de la evolución, propusieron que los cloroplastos tendrían un origen simbiótico relacionado con un organismo fotosintetizador llamado cianobacteria, y se llevaron a cabo intentos experimentales de laboratorio con el fin de cultivar y estudiar la naturaleza de dichos cloroplastos.

El zoólogo francés Paul Portier (1866-1962), propuso el origen bacteriano de las mitocondrias en el libro *Les symbiotes* (1918) y el biólogo celular Ivan Wallin (1883-1969), planteaba también que las mitocondrias podrían ser poblaciones de bacterias y que la diferenciación de estas originaba los demás orgánulos celulares. Por otro lado, el ruso Kostantine Merezhkovsky (1855-1921) jugó un papel central en la formulación teórica de la endosimbiosis, acuñando el término “simbiogénesis” (1909), definido como “el origen de organismos por la combinación o asociación de dos o más seres que entran en simbiosis” (Merezhkovsky, 1910, en Sapp, 2014, p. 92). Su compatriota, Boris Michailovich Kozo-Polyansky (1890-1957), un botánico evolucionista, extendió estas ideas en su libro de 1924: *Simbiogénesis: Un nuevo principio evolutivo*.

Así, en este período, diversos científicos plantearon hipótesis robustas sobre el origen bacteriano de algunos orgánulos que componen estructuralmente las células eucariotas (Margulis, 2002) pero, como propone Sapp (2014), tuvieron un lugar marginal dentro de la biología durante la mayor parte del siglo XIX y principios del XX.

Esta cuestión puede atribuirse a la fuerte influencia de una teoría emergente en esa época, la que establecía el origen microbiano de las enfermedades (Sapp, 2014). Bajo esta concepción del mundo, era determinante en las discusiones el rol de los microorganismos como agentes infecciosos y no la historia de ese grupo biológico de gran diversidad y antigüedad (Lazcano Araujo, 2002). De forma sintética, Ivan Wallin dejó plasmada esta idea en su obra *Symbiogenicism and the origin of species*:

La propuesta de que las bacterias, [...] pueden representar el factor causal fundamental en el origen de las especies es bastante chocante. La evidencia de las actividades constructivas de las bacterias ha estado ahí desde hace muchos años, pero las concepciones populares de las bacterias han quedado teñidas principalmente por sus actividades destructivas, cuya representación es la enfermedad. (Wallin, 1921, p. 8)

Para dar cuenta de otros obstáculos de conocimiento que se debieron sortear, Margulis (2002) describe que, “[...] hasta la llegada del microscopio electrónico, un instrumento de enorme resolución, había cerca de veinte términos para esos pequeños cuerpos que hay dentro de las células, más tarde conocidos como mitocondrias” (p. 97). Específicamente, el citólogo y anatomista canadiense Cowdry (1918), en un recorrido histórico sobre el estudio de estas organelas, plantea que, desde su primera clasifica-

ción en el año 1874, fueron reclasificadas setenta y una veces en un lapso de treinta años (pp. 44-45).

Así, la calidad de las observaciones al microscopio óptico, colaboró quizás en el desarrollo de un lenguaje poco preciso sobre la naturaleza misma de los orgánulos, que a su vez, pudo haber influido en la forma de concebir el papel evolutivo que podrían haber representado las bacterias en el origen de la célula eucariota.

b) Período de latencia

Las décadas del treinta al cincuenta del siglo XX, fueron una época de gran desarrollo de la teoría sintética de la evolución (Salgado y Arcucci, 2016). A partir de ella “[...] los arquitectos clásicos de la llamada síntesis evolucionista, habían convenido desde hace tiempo que la mutación y la recombinación genética dentro de las especies eran las únicas fuentes de innovación evolutiva por selección natural” (Sapp, 2014, p. 94). En este contexto, poco propicio para el desarrollo de visiones alternativas sobre la evolución, no se han encontrado publicaciones relacionadas con la endosimbiosis.

A medida que la teoría sintética de la evolución continuaba desarrollándose, los avances tecnológicos en microscopía electrónica y las investigaciones en genética molecular, abrieron nuevos caminos que dejaron en relieve nuevas estructuras subcelulares que interpretar y nuevos problemas que la teoría debía resolver. En este contexto, uno de los ejemplos más claros que representa la influencia del programa darwiniano (adaptacionista/gradualista) en la explicación evolutiva del origen de la célula eucariota, es la hipótesis teórica formulada por Robertson (1965/1970), autor del modelo de “unidad de membrana” que se observa en la figura 1, la que explica el origen de las mitocondrias por invaginaciones sucesivas de la membrana.

c) Período de resurgimiento

Durante los años sesenta y setenta del siglo XX se discutieron ideas sobre endosimbiosis en más de cincuenta artículos científicos (Sapp, 2014).

El resurgimiento se vio impulsado, básicamente, por una corriente crítica de las posturas evolutivas “nucleocéntricas” predominantes, las

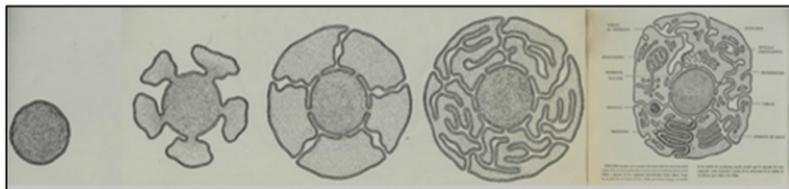


Fig. 1: Origen de organelas por invaginación gradual de membranas.

Nota: Imagen de extraída de “La membrana de la célula viva” de D. Robertson. En J.R. Villanueva, (Ed.), *La célula viva. Selecciones de Scientific American*. Madrid: Blume. 1970, p. 82.

efectuaban jóvenes biólogos estadounidenses y eran afines a la revalorización de las ideas formuladas en las publicaciones del primer período (Sampedro, 2007). Ahora bien, el contexto se modificó, y el nuevo terreno en el cual se buscarían pruebas y también en el cual se dirimirían controversias fue el de la biología y la genética molecular.

el punto de inflexión para la aceptación de la simbiosis en la evolución celular fue a principios de los sesenta, cuando se hallaron moléculas de ADN y ribosomas en las mitocondrias y los cloroplastos, y se examinaron los orgánulos al microscopio electrónico. (Sapp, 2014, p. 84)

La presencia de ADN en mitocondrias y cloroplastos, implicó a biólogos del campo de la teoría sintética en la necesidad de profundizar los modelos de evolución de la célula eucariota, discutir el supuesto origen bacteriano de esas organelas y formular explicaciones que asimilaran ese hecho al marco teórico de referencia. En esta línea, Max Taylor de la Universidad Británica de Columbia, propuso un modelo que denominó “filiación directa” (Taylor, 1974, 1976), por el cual, la presencia de ADN de mitocondrias y cloroplastos, “[...] evolucionaron sin mediación de la simbiosis, [...] todos ellos surgieron como pellizcos del ADN del núcleo” (Margulis, 2002, p. 96).

La controversia sobre el ADN presente en las organelas, se dirimió en favor del modelo endosimbiótico, primero, porque a inicios de la década del sesenta se determinó su parecido con el ADN bacteriano, y luego, cuando el microbiólogo estadounidense Carl Woese (1928-2012) logró establecer que el ARN ribosómico contenido en cloroplastos y mitocondrias tenía un origen alfa-proteobacteriano y cianobacteriano respectivamente (Margulis, 2002; Sapp, 2014).

En el año 1967, la estructuración del modelo encuentra un punto de inflexión con la publicación de Margulis de *On the origin of mitosing cells* y, a partir de allí, del desarrollo de un programa de trabajo que unificó conocimientos provenientes de diferentes campos, los articuló y apoyó con una serie de datos morfológicos, bioquímicos, genéticos e incluso geológicos que permitieron consolidar otro enfoque explicativo del origen de la célula eucariota. En la actualidad, y luego de transcurridos casi 50 años, el análisis de los manuales para la formación de biólogos, depositarios de los modelos de ciencia normal, da como resultado una coexistencia de modelos para explicar el origen de la célula eucariota. Mitocondrias y cloroplastos son reconocidas como organelas endosimbióticas y otras estructuras celulares como retículo endoplásmico y aparato de Golgi, se proponen como el resultado de invaginaciones graduales de membrana.

Implicancias para la formación en el eje “Naturaleza de las ciencias”

La perspectiva Naturaleza de la ciencia constituye una línea de investigación y un área de enseñanza, integra aspectos de filosofía, historia y sociología de la ciencia y tiene como objetivo desarrollar la educación metacientífica de los y las estudiantes y lograr que las imágenes que sobre la ciencia circulan en la sociedad sean más actualizadas y críticas (Lederman, 1992; McComas, 1998). En este campo existe un amplio debate de perspectivas respecto de cuáles son las temáticas metacientíficas que deberían enseñarse y el modo de organizarlas (Gilbert & Justi, 2016). Para nuestra investigación adoptamos una propuesta que se orienta a la construcción de entidades metateóricas específicas (Adúriz-Bravo & Ariza, 2012), necesarias para estructurar un campo metacientífico que sea fecundo a los estudiantes del profesorado y que potencie y haga más significativa la formación disciplinar y didáctica que lleven a cabo. El modo de especificar los aspectos a enseñar es mediante la formulación de ideas clave metacientíficas, afirmaciones sencillas pero muy significativas para los y las estudiantes ya que constituyen el aspecto específico de la ciencia que se pretende abordar en cada campo. Desde esta perspectiva y de manera preliminar, al analizar los resultados obtenidos en el estudio consideramos que:

- La influencia que tuvo la teoría microbiana de la enfermedad en el desarrollo de la teoría endosimbiótica y la formulación de nuevos problemas para su desarrollo bajo el paradigma molecular de la biología

en el tercer período, son episodios que pueden implicarse en el desarrollo de una idea clave sobre “paradigma”.

- Las discusiones sobre el origen del ADN de mitocondrias y cloroplastos y la formulación del modelo alternativo propuesto por Taylor, son episodios que pueden implicarse en el desarrollo de ideas claves sobre: la “carga teórica de las observaciones” y “la construcción de los hechos científicos”.

Un posterior análisis más profundo permitirá identificar nuevos episodios e implicar otras entidades metateóricas a enseñar en el desarrollo de unidades didácticas.

Referencias

- Adúriz-Bravo, A. (2013). A ‘semantic’ view of scientific models for science education. *Science & Education*, 22(7), 1593-1611.
- Adúriz-Bravo, A. (2012). Aproximaciones histórico-epistemológicas para la enseñanza de conceptos disciplinares. *Revista Virtual EDUCyT*, 1(1), 107-126.
- Adúriz-Bravo, A. & Ariza, Y. (2012). Importancia de la filosofía y la historia de la ciencia en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias. En Z. Monroy Nasr, R. León-Sánchez & G. Álvarez Díaz de León (comps.), *Enseñanza de la ciencia* (pp. 79-92). México: DGAPA.
- Arcucci, A. & Salgado, L. (2016). *Teorías de la evolución: Notas desde el sur*. Argentina: Editorial UNRN.
- Baker, J. R. (1952). The cell-theory: a restatement, history, and critique. *Quarterly Journal of Microscopical Science*, 93 (2): 157-190.
- Cowdry, E. V. (1918). *The mitochondrial constituents of protoplasm*. Carnegie Institution of Washington.
- Giere, R. (1992). *La explicación de la ciencia: Un acercamiento cognoscitivo* (C. Gidi, trad.). México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (Obra original de 1988)
- Harris, H. (2000). *The birth of the cell*. New Haven, CT: Yale University Press.

- Kuhn, T. S. (1996). *La tensión esencial* (R. Helier, trad.). México: Fondo de Cultura Económica. (Obra original de 1977)
- Lazcano A. (2002). El origen del nucleocitoplasma. Breve historia de una hipótesis cambiante. En Margulis, L. (Ed.), *Una revolución en la evolución* (pp. 182-183). Valencia: Universitat de Valencia.
- Lozano, E., Bahamonde, N. & Adúriz-Bravo, A. (2016). Análisis histórico-epistemológico sobre los modelos de membrana celular para enseñar biología celular y naturaleza de la ciencia al profesorado. *Filosofía e Historia da Biología, São Paulo*, 11(1), 49-68.
- Lozano, E., Bahamonde, N., Cremer C. & Mut, P. (2018). El desarrollo de una línea metacientífica para la enseñanza del modelo de presión arterial en la formación del profesorado en biología. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 17 (3), 564-580
- Margulis, L. (2002). *Una revolución en la evolución* (Vol. 20). Valencia: Universitat de València.
- Margulis, L. & Olendzenski, L. (1996). *Evolución ambiental: efectos del origen y evolución de la vida sobre el planeta Tierra*. España: Alianza editorial.
- Matthews, M. (1994). Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 12 (2), 255-278.
- Orozco, J. C. (1992). Consideraciones para un enfoque histórico-epistemológico de la enseñanza de las ciencias. *Tecné Episteme y Didaxis TED*, 7, 22-35.
- Robertson, D. (1970). La membrana de la célula viva. En Villanueva, J. R (Ed.), I. García Acha, M. Losada & C. Fernández Heredia (trads.), *La célula viva* (pp. 75-83). *Selecciones de Scientific American*. Madrid: Blume. (Obra original de 1965)
- Saap, J. (2014). Demasiado fantástica para la sociedad formal. Una breve historia de la teoría simbiótica. En D Sagan. (Ed.), *Lynn Margulis. Vida y legado de una científica rebelde* (pp. 79-96). Barcelona: Tusquets Editores.

- Sampedro, J. (2002). *Deconstruyendo a Darwin*. Argentina: Ed. Drakontos bolsillo.
- Taylor, F. J. R. (1974). II. Implications and extensions of the serial endosymbiosis theory of the origin of eukaryotes. *Taxon*, 23(2-3), 229-258.
- Taylor, F. J. R. (1976). Autogenous theories for the origin of eukaryotes. *Taxon*, 377-390.
- Wallin, I. E. (1927). *Symbiogenesis and the origin of species*. Baltimore: Waverly Press.