

Análisis histórico-epistemológico sobre los modelos de membrana celular para enseñar biología celular y naturaleza de la ciencia al profesorado

Eduardo Lozano #
Nora Bahamonde *
Agustín Adúriz-Bravo ^Δ

Resumen: A partir de la producción de un análisis histórico-epistemológico de los modelos de membrana celular, que abarcó desde el surgimiento de la teoría celular en la primera mitad del siglo XIX hasta la aceptación del modelo de Overton a fines de ese mismo siglo, presentamos en este trabajo dos episodios históricos que dan cuenta de la compleja dinámica argumentativa y de los ajustes teórico-empíricos implicados en su formulación, y los relacionamos con dos “ideas clave” metacientíficas de interés para la enseñanza: una vinculada con la carga teórica de la observación y otra con los modelos analógicos. Estos aportes se tuvieron en cuenta en el diseño y la implementación de una unidad didáctica para un curso de Biología Celular para la formación del profesorado de biología en la Universidad; la unidad integró contenidos biológicos y metacientíficos, tal cual lo establecen las actuales prescripciones curriculares de Argentina.

Centro de Estudios e Investigación en Educación (CEIE), Universidad Nacional de Río Negro, Estados Unidos 750, General Roca (CP 8332), Río Negro, Argentina. E-mail: elozano@unrn.edu.ar

* Centro de Estudios e Investigación en Educación (CEIE), Universidad Nacional de Río Negro, Estados Unidos 750, General Roca (CP 8332), Río Negro, Argentina. E-mail: nbahamonde@hotmail.com

^Δ CONICET/CeFIEC-Instituto de Investigaciones Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. CeFIEC, 2º Piso, Pabellón 2, Ciudad Universitaria, Av. Intendente Güiraldes 2160, (C1428EGA) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. E-mail: aadurizbravo@cefiec.fcen.uba.ar

Palabras-clave: análisis histórico-epistemológico; membrana celular; modelo; naturaleza de la ciencia; profesorado

Historical-epistemological analysis on the models of cell membrane to teach cell biology and nature of science to teachers

Abstract: On the basis of an historical-epistemological review on the models of cell membrane since the emergence of cell theory in the first half of the 19th century until the acceptance of Overton's model at the end of that century, we present in this article two historical episodes that account for the complex argumentative dynamics and of the theoretical-empirical adjustments involved in the formulation of such model. We then relate those two episodes to two key meta-scientific ideas of interest for teaching: one linked to theory-ladeness of observation and the other one with analogical models. With this input, we designed and implemented an instructional unit for the course of Cell Biology in a degree in biology teaching at the University; the unit integrated biological and meta-scientific content, as it is currently required in the curriculum in Argentina.

Key-words: historical-epistemological analysis; cell membrane; model; nature of science; teacher education

1 INTRODUCCIÓN

La progresiva y laboriosa construcción de un modelo de membrana celular constituye uno de los procesos de desarrollo teórico más interesantes en el campo de la biología celular. Desde las primeras descripciones realizadas por Hooke (1635-1703) en 1665 y por los fisiólogos y anatomistas que emprendieron el estudio de la arquitectura básica de los organismos (Harris, 2000), la identificación de células mediante la utilización de microscopios consistía básicamente en determinar diminutas estructuras con límites definidos. Pero esa característica, el límite de la célula al que debe el origen de su nombre, *celda*, fue paradójicamente el último elemento celular en modelizarse como una estructura química y funcionalmente diferente del citoplasma y del núcleo (Baker, 1952).

Las seis décadas que transcurrieron desde la generalización de la teoría celular, hacia 1839 (Albarracín Teulón, 1983), hasta la aceptación del modelo de Overton (1865-1933), que definitivamente reconocía una membrana en la estructura celular (Baker, 1952), implicaron

una compleja y significativa historia de controversias y de ajustes teórico-empíricos.

Ahora bien, dentro del ámbito de la enseñanza de las ciencias, la membrana celular, definida hoy con la analogía del mosaico fluido (Campbell & Reece, 2007), es presentada, en los libros de texto y en las clases en general, como una entidad teórica atemporal y despojada de toda la rica dinámica argumentativa implicada en la historia de su producción. Este aspecto constituye un problema y cobra especial relevancia en el espacio de la formación del profesorado en Biología, en el cual, y según las actuales prescripciones curriculares de nuestro país (CFE, 2012), los futuros profesores deberían formarse para una enseñanza de contenidos biológicos que implique también contenidos metacientíficos, esto es, de filosofía e historia de la ciencia, en los diferentes niveles educativos en los cuales se desempeñen.

2 NATURALEZA DE LA CIENCIA Y ANÁLISIS HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICOS

Desde hace más de dos décadas se hicieron consistentes y se extendieron en el campo de la didáctica de las ciencias naturales ciertas líneas de investigación que consideraron que la reflexión crítica sobre la ciencia, esto es, saber sobre qué es la ciencia, cómo se elabora y cómo se relaciona con la sociedad, es tan importante para la formación de los estudiantes y de los ciudadanos en general como saber los propios contenidos científicos (Lederman, 1992; Matthews, 1994; Driver *et al.*, 1996). En ese heterogéneo campo de investigación, el eje *naturaleza de la ciencia* (Lederman, 1992, 2002, 2006; McComas, 1998) se ha constituido en la actualidad como un importante componente curricular de reflexión crítica sobre las ciencias naturales, y puede ser definido como un conjunto de contenidos metacientíficos con valor para la educación científica, a partir de los cuales los estudiantes pueden reflexionar sobre la ciencia en sus aspectos epistemológicos, históricos y sociológicos, y construir imágenes más ajustadas a lo que actualmente se sabe sobre ella (Adúriz-Bravo, 2005; 2010).

Respecto de cuáles son los temas que deberían ser seleccionados y el modo de organizarlos para su enseñanza (Vázquez Alonso & Manassero Mas, 2015), se han elaborado diferentes perspectivas teóricas. Entre ellas resaltan, por una parte, las que han abogado por delimitar

listas reducidas de afirmaciones metacientíficas muy simples y generales (aproximaciones basadas en “tenets”) (Lederman, 2006) y, por otra, propuestas más actuales que sostienen visiones más amplias y relacionales, como por ejemplo, la perspectiva llamada “family resemblance approach” (FRA) (Irzik & Nola, 2010) o el desarrollo de contenidos metacientíficos a partir de la consideración de la multiplicidad de formas de hacer ciencia (Matthews, 2012).

Otra propuesta alternativa, adoptada en este estudio y diferente de las aproximaciones basadas en “tenets” que promueven la enseñanza de generalizaciones sobre rasgos básicos de la ciencia, se orienta a la construcción de entidades metateóricas más específicas, que serían necesarias para la formación disciplinar y didáctica del profesorado de ciencias. En esta perspectiva, la formulación de unas “ideas clave” epistemológicas expresadas mediante afirmaciones poco técnicas, constituye el modo de delimitar el aspecto específico de la ciencia que se pretende abordar e identificar con precisión el modelo epistemológico particular que se usará para abordarlo (Ariza & Adúriz-Bravo, 2012).

Para colaborar con el diseño de propuestas de enseñanza integradoras de aspectos disciplinares de la biología y de contenidos metacientíficos, realizamos análisis histórico-epistemológicos, que permiten adoptar una postura metacientífica explícita y articulada con la naturaleza de los modelos a enseñar. Estos estudios son en primera instancia “internalistas”, al enfocarse en las variables internas de la dinámica de la producción de modelos, pero, al atender también a los elementos históricos y sociales que actúan como condicionantes externos de esa dinámica, constituyen una valiosa herramienta de contextualización y de desarrollo de ideas que enriquecen y entran los contenidos biológicos y metacientíficos (Matthews, 1994; Adúriz-Bravo, 2010; Bahamonde & Rodríguez, 2012; Revel Chion, Meinardi & Adúriz-Bravo, 2013).

Según este enfoque, y en función del trabajo de diseñar una unidad didáctica sobre modelos de membrana celular para la materia Biología Celular de una carrera de Profesorado de Nivel Medio y Superior en Biología, desarrollamos un análisis que permitió abordar las siguientes preguntas: ¿Cómo fue la génesis, evolución y desarrollo de los modelos de membrana celular? ¿Qué dificultades, obstáculos, y

discusiones aparecieron en su producción? Dichas preguntas fueron formuladas con el sentido de identificar episodios históricos que sirvieran como escenario para ambientar la discusión sobre las ideas clave metacientíficas, consideradas de interés para la enseñanza.

En este trabajo se presentan y fundamentan dos ideas claves metacientíficas necesarias para la formación del profesorado en biología, una vinculada con la carga teórica de la observación y la otra con los modelos analógicos; tales ideas se relacionan con dos episodios provenientes del análisis histórico-epistemológico llevado a cabo sobre la construcción del modelo de membrana celular durante la segunda mitad del siglo XIX.

Así, el sentido general de la producción fue poner a disposición materiales para facilitar la integración de contenidos metacientíficos en el diseño e implementación de unidades didácticas de biología.

3 LA CARGA TEÓRICA DE LA OBSERVACIÓN Y LAS DISCUSIONES EN EL SIGLO XIX SOBRE LA EXISTENCIA O NO DE UNA MEMBRANA CELULAR

3.1 Idea clave metacientífica: Las observaciones poseen carga teórica

Norwood R. Hanson, en su libro *Patrones de descubrimiento* (Hanson [1958], 2010), y Thomas S. Kuhn, en *La estructura de las revoluciones científicas* (Kuhn [1962], 2006), presentaron argumentos muy influyentes respecto de la consideración de la carga teórica que poseen las observaciones científicas (“theory-ladenness of observation”) y cuestionaron las visiones excesivamente empiristas de los positivistas lógicos respecto de que la observación proporcionaba una ventana teóricamente neutral para conocer el mundo (Suppe, 1977, *apud* Brewer & Lambert, 1993). Propusieron que las percepciones de los hechos se fabrican en las mentes humanas y en las comunidades científicas utilizando material cultural previo y creencias. Si esas matrices se cambian, existe la posibilidad de que ciertos hechos desaparezcan y aparezcan otros, y por esto los científicos, al igual que todos los observadores, tienen ideas preconcebidas e innumerables prejuicios acerca de la forma en que funciona el mundo.

Estas ideas, que en el ámbito de la filosofía de la ciencia comenzaron a desarrollarse hace más de setenta años y que continúan en debate (Schuster, 1995), no tienen en general un correlato en los niveles de alfabetización metacientífica de los estudiantes, los profesores y la ciudadanía en general. McComas (1998) y otros autores, en la explicitación de mitos que sobre la ciencia circulan en la sociedad, sostienen que es muy frecuente que los estudiantes y profesores de los distintos niveles educativos y las personas en general consideren que las teorías aparecen recién luego de haber observado los hechos, y que la investigación científica es principalmente una tarea de “descubrimiento” de hechos objetivos, a modo de encontrar “pepitas” de verdad distribuidas por el mundo (Schuster, 1995).

La construcción de una idea clave relacionada con la carga teórica de las observación científica permitiría comenzar a discutir estas visiones, interpelar el preconcepto del “descubrimiento” como actividad central de la investigación científica y abrir a la consideración de que es más adecuado pensar hoy que los hechos científicos se construyen en una trabajosa y elaborada interacción entre mundo e ideas.

En el estudio que llevamos a cabo identificamos el siguiente episodio, implicado en la historia de la construcción del modelo de membrana celular, que es potencialmente significativo para analizar y desarrollar la idea clave metacientífica propuesta.

3.2 Discusiones sobre los blastómeros, o cuando la célula no necesitaba una membrana celular

Los primeros problemas y discusiones sobre la naturaleza del límite de la célula se produjeron a poco de la publicación de las *Mikroskopische Untersuchungen* de 1839, escrito en el cual Theodor Schwann (1810-1882) sentenciaba, respecto de la extensión al mundo animal del modelo celular de Schleiden:

Con ello se ha derrumbado una pared divisoria fundamental entre el reino animal y el vegetal, la diferencia de su estructura. Conocemos la significación de las partes singulares de los llamados tejidos animales, en comparación con los de las células vegetales, y sabemos que en estos tejidos, células, membrana celular, contenido celular, núcleos y corpúsculos nucleares son totalmente análogos a las partes homónimas en las células vegetales. (Schwann [1839], *apud* Albarracín Teulón, 1983, p. 65)

La fuerza de esa generalización, que horadó profundamente la hegemonía de la teoría de las fibras¹, también constituyó una fuerte carga teórica y un condicionante para las observaciones que se hacían del límite de ciertas células animales, como los blastómeros de rana, que eran móviles, e implicaron a distinguidos anatomistas y fisiólogos en una compleja discusión que, iniciada en 1841, es considerada en diversas fuentes, como ejemplar y básica en el largo camino que debió recorrerse hasta la formulación del modelo de membrana celular, casi sesenta años después (Baker, 1952; Albarracín Teulón, 1983; Harris, 2000):

C. Reichert ayudado por Du Bois Reymond investigó en 1841 los blastómeros de huevos de anfibios, tras aislarlos y colocarlos en agua destilada bajo el microscopio, claramente se separaba por endósmosis una membrana de superficie que consideraron ser una verdadera pared celular. Por el contrario, Ecker según informa Remak, ante la presencia de movimiento en el blastómero de la rana, lo consideró incompatible con la presencia de una pared y negó la naturaleza celular de aquel. Ello incitó al propio Remak a intervenir en la controversia: su genialidad investigadora falló en esta ocasión ya que aseguró que las dos membranas que rodeaban a cada blastómero –membrana, no pared celular– se correspondían con la pared celular de los tejidos vegetales y en consecuencia el blastómero era una verdadera célula. (Albarracín Teulón, 1983, pp. 132-133)

Este interesante relato que describe la controversia sobre la presencia o no de un límite celular en los blastómeros debería considerarse como una consecuencia de la necesidad de extender la recientemente formulada teoría celular a nuevos sistemas bajo estudio que, en un primer momento, se resistían a su asimilación. Allí pueden identificarse algunos elementos de diferente naturaleza – teóricos, metodológicos, lingüísticos – que orientaban y condicionaban las observaciones y las discusiones, por ejemplo:

¹ “Piénsese en la Anatomie de Joseph Berres, iniciada en 1837, y en la que el anatomista vienés ve células, describe células, pero fundamenta en la fibra la unidad estructural del organismo” (Albarracín Teulón, 1983, p. 19).

- La aceptación de la generalización de Schwann respecto de que todas las células tienen pared celular a semejanza de las vegetales, y su extensión al registro de los blastómeros, era parte de una tradición botánica; los citólogos del organismo animal daban por supuesta, aunque en la mayor parte de los casos no la veían, la existencia de la pared celular (Albarracín Teulón, 1983).

- En el marco de la generalización de Schwann, y ante el movimiento de los blastómeros, ya que no tenían la rigidez que otorga la pared celular (Harris, 2000), deviene la consideración por parte de Johann Alexander Ecker (1816-1887) de que esas estructuras no deben ser entonces consideradas celulares.

- Las deformaciones en las imágenes de los márgenes celulares de las células animales que ofrecía la poca apertura de los objetivos de los microscopios de la época daban sensación de doble margen, y de esas observaciones se infería la similaridad con la pared celular de las células vegetales, lo que es utilizado por Robert Remak (1815-1865) para “salvarlas” nuevamente como células.

- La controversia, además, estaba signada por la utilización indistinta de los términos pared celular y membrana celular para referirse a la estructura externa de las células – hecho común en las publicaciones de la época (Baker, 1952).

En ese contexto de problematización, en el cual las células animales no mostraban a la observación al microscopio óptico una pared visible, una alternativa razonable fue proponer para ellas un protoplasma consistente, y por esto con límites definidos, pero a la vez no necesariamente provisto de alguna estructura entre el protoplasma y el exterior.

No todas las células son de naturaleza vesículoide; no siempre es posible distinguir una membrana separable del contenido. Para la idea morfológica de una célula se requiere una sustancia más o menos blanda, primitivamente próxima en su forma a una esfera, y conteniendo un cuerpo central denominado núcleo. La sustancia celular se solidifica en una capa limitante o membrana más o menos independiente, y luego la vesícula se resuelve, de acuerdo con la terminología científica, en membrana, contenido celular y núcleo. (Leydig, 1851, *apud* Albarracín Teulón, 1983, p. 133)

Desde esta perspectiva, en la cual la membrana es químicamente semejante al citoplasma, esto es, solo se distingue porque se ha “solidificado”, Max Johann Sigismund Schultze (1825-1874) propuso, a partir de estudios que también implicaron blastómeros, una célebre frase: “Eine Zelle ist ein Klumpchen Protoplasma, in dessen inneren ein Kern liegt”, esto es, “una célula es un grumito de protoplasma en cuyo interior hay un núcleo” (Baker, 1952). Para Schultze, “una célula con membrana que difiere químicamente del protoplasma, es como un infusorio enquistado, como un monstruo aprisionado” (Schultze, 1861, *apud* Albarracín Teulón, 1983, p. 134).

En síntesis, y en función del análisis de los obstáculos en la construcción del modelo de membrana celular en el período del desarrollo inicial de la teoría celular, Baker sostiene que no podía obtenerse una imagen clara de la naturaleza de la célula mientras que la pared celular fuese considerada como una parte imprescindible:

Había que tener en cuenta que la pared en algunas ocasiones estaba presente y en otras ausente, mientras que la propia célula estaba siempre limitada por una membrana especial, no separable mecánicamente del citoplasma en su interior. Este avance no pudo ser hecho en un solo paso. Primero fue necesario descartar a la pared celular como una parte esencial en la idea de una célula, la cual fue vista entonces como un protoplasma “desnudo”. El descubrimiento de la membrana celular llegó mucho más tarde. (Baker, 1952, p. 163)

Ahora bien, en ese momento también había voces en disidencia, como las de Remak, quien planteaba la necesidad de considerar una membrana químicamente diferente del citoplasma fundamental y separable de aquel por agentes químicos (Albarracín Teulón, 1983). Lo cierto es que hasta fines del siglo XIX ninguna de las posiciones logró predominar respecto de si la membrana celular constituía o no una estructura imprescindible en la conformación de la célula, y las observaciones de células animales siguieron orientadas por las hipótesis establecidas en favor o no de la existencia de una membrana.

4 UN MODELO ANALÓGICO PARA LA MEMBRANA CELULAR A FINES DEL SIGLO XIX

4.1 Idea clave metacientífica: Los modelos son representaciones que reemplazan, simplifican y analogan elementos y relaciones de una parte de la realidad

La consideración de la carga teórica de la observación y los enfoques historicistas que abordaron el estudio del cambio en la ciencia (Kuhn [1962], 2006), constituyeron una fuerte crítica a la visión clásica de una *ciencia derivada de los hechos* (Chalmers [1976], 1990), y fueron perspectivas influyentes para el desarrollo de una visión realista moderada, esto es, la consideración de que la ciencia no produce copias directas de la realidad, sino que construye representaciones y analogías sobre *algunos* aspectos del mundo real seleccionado (Adúriz-Bravo, 2005). En este sentido, el modelo cognitivo de ciencia, que considera que la actividad principal de los científicos es *representar(se)* el mundo a través de teorías para otorgarle sentido y evaluar los resultados, se sustanció en una “concepción semántica de las teorías científicas”, afianzada como corriente fuerte en el ámbito de la filosofía de la ciencia a partir de la década de los años 1970, y tuvo un gran impacto en el campo de la investigación en didáctica de las ciencias naturales (Izquierdo, 2000).

En ese marco, Giere (1992) otorga un lugar central a los *modelos teóricos*, y propone que el vínculo entre los modelos y los sistemas de la realidad a los cuales ellos pretenden otorgar sentido puede establecerse en términos de semejanza (“similaridad”), esto es, considera que los modelos son parecidos a ciertos aspectos de la realidad que se estudia, aspectos que vienen a reemplazar o “subrogar”. Respecto de los recursos semióticos utilizados para dar cuenta de los modelos y “definirlos”, Giere considera que no hay un único modo, como la axiomatización lo era para la visión tradicional de la ciencia:

Los recursos lingüísticos concretos utilizados para caracterizar estos modelos son de interés secundario. Desde el punto de vista racional, y teniendo en cuenta los fines del análisis metacientífico, no existe un lenguaje que tenga preferencia a la hora de reconstruir las teorías científicas. (Giere, 1988, *apud* Estany, 1993, p. 199)

Desde esta perspectiva, en los análisis histórico-epistemológicos cobra especial relevancia la identificación de diferentes lenguajes y estrategias que los investigadores han utilizado para definir aspectos

de los modelos que han producido, al subrogar con ellos las parcelas de la realidad bajo estudio. Por ejemplo, la identificación de analogías en estos análisis es de un gran valor didáctico al momento de desarrollar un modelo biológico en las clases de ciencias, como también lo es para colaborar en la construcción de una imagen de ciencia realista moderada en los estudiantes.

En el estudio que llevamos a cabo identificamos el siguiente episodio, en el cual aparece la fuerza representacional de una analogía con pompas de jabón en la construcción teórica del modelo lipídico de la membrana celular.

4.2 Aunque no sea visible, es necesaria una membrana celular: una analogía con pompas de jabón

Baker (1952) sostiene que sería con el afianzamiento de las hipótesis fisiológicas y los trabajos experimentales sobre ósmosis y plasmólisis de células vegetales y animales que el modelo de célula se ajustaría y estabilizaría, identificando un límite que no fuera la pared celular de las células vegetales y que no surgiera por solidificación del protoplasto, sino por que tuviera una naturaleza química diferente y con funciones específicas para hacer selectiva la entrada y salida de sustancias de la célula.

Colocar células en medios hipotónicos e hipertónicos y disparar fenómenos de separación de estructuras limitantes (membranas de vacuolas, membranas celulares y paredes celulares) fueron escenarios experimentales que permitieron, a partir de las observaciones, tensionar y ajustar hipótesis que anticipaban la presencia de una delgada membrana, invisible, pero funcionalmente activa. Overton, en 1895, sistematizó estos trabajos, tanto en células vegetales como animales. Básicamente generó experiencias osmóticas con células vegetales que permitían inferir que las modificaciones en el volumen del citoplasma estaban controladas por una membrana y no por la pared celular y propuso su modelo de célula vegetal (Baker, 1952), el cual ya incluía una membrana como estructura diferenciada química y funcionalmente de la pared celular.

El modelo de Overton también se extendía sobre los aspectos químicos de la membrana y postuló su carácter lipídico, al intentar

difundir al interior de las células sustancias afines o no a los compuestos hidrofóbicos.

Estos trabajos se nutrían de aportes provenientes de las investigaciones sobre química de los fenómenos de superficie, especialmente de las interfases aceite-agua, iniciadas por John William Strutt, Lord Rayleigh (1842-1919) y Agnes Pockels (1862-1935). Tales trabajos habían sido retomados por Irving Langmuir (1881-1957), que modelizó la constitución de monocapas de aceite de superficie conocida sobre agua² (Langmuir, 1917).

La entidad creciente que alcanzaba en ese contexto la hipótesis sobre la existencia de una delgada película, y la necesidad de diferenciarla del contenido químico del protoplasma, tuvieron su analogía cuando el físico alemán Georg Quincke (1834-1924), en 1888, les aportó a los biólogos una muy potente comparación entre la membrana celular y las pompas de jabón. Tal comparación ha sido considerada central en nuestro estudio por sus implicaciones didácticas:

La superficie plasmática consiste de una membrana fluida muy delgada que envuelve el contenido mucoso y acuoso de la célula en una superficie cerrada, así como una burbuja de jabón encierra el aire. La sustancia de esta membrana es un fluido, que forma gotas en agua y no es miscible con agua. Puesto que de todas las sustancias de origen orgánico conocidas, sólo los aceites muestran esta propiedad, la superficie plasmática debe consistir de aceite graso. (Kepner, 1979, *apud* Hidalgo, Devés & Lagos, 1996, p. 6)

Desde los modelos actuales de membrana, es notable el atributo de fluidez que Quincke otorgaba en ese momento al límite celular. Esta comparación adquiere un importante valor como modelo analógico, ya que las pompas de jabón no “son” membranas celulares, pero su parecido en la constitución química de sus componentes permite

² El antecedente paradigmático de estos trabajos (Mouritsen, 2011) lo constituyen las experiencias de Benjamin Franklin (1706-1790), quien, al retomar ideas de Plinio el Viejo (23-79), postulaba el efecto aquietante de las aguas que producía el aceite derramado desde los barcos (Franklin, Brownrigg & Farish, 1774).

de manera sencilla la manipulación macroscópica y el análisis indirecto de propiedades de fluidez de tales membranas³.

La utilización de esta analogía, que implicaba una relación entre la membrana celular y sustancias parecidas a los jabones (Kleinzeller, 1995), fue criticada por el fisiólogo vegetal Wilhem Pfeffer (1845-1920), quien le cuestionaba la falta de fundamentos aceptables sostenidos en experimentos con organismos y el hecho de que estuviera basada únicamente en experimentos físicos, a partir de los cuales Quincke extrapolaba una hipótesis sobre la naturaleza química de la membrana. La respuesta que ofreció Quincke puso en valor la importancia de la modelización física y química *analógica* de las estructuras subcelulares, al plantear la utilidad que tiene para el conocimiento de la estructura y el funcionamiento de la célula y los organismos:

Yo sé muy bien que en Alemania hay muchos representantes de las ciencias naturales descriptivas que no están de acuerdo con mi visión de la estructura y el movimiento del protoplasma; sin embargo los hechos observados y las conclusiones físicas deducidas, que pueden parecer no muy inteligibles a otra ciencia, son correctas y útiles. La ciencia biológica debe, para bien o para mal, tomar en cuenta el hecho que el desarrollo de la célula y la vida de la naturaleza orgánica depende de masa y capas que no pueden ser percibidas por el microscopio únicamente. (Kepner, 1979, *apud* Hidalgo, Devés & Lagos, 1996, p. 7)

5 A MODO DE CONCLUSIÓN

La construcción de nuestro análisis histórico-epistemológico implicó una revisión concienzuda de diferentes fuentes bibliográficas (secundarias) que, como aspecto central o complementario de sus desarrollos, abordaron modelos de membrana celular en la historia. Si bien en este trabajo solo se presentaron dos episodios correspondientes al siglo XIX, el estudio completo incluyó el análisis de la evolución de los modelos sobre membrana celular y evolución de los sis-

³Por ejemplo, de manera similar al modo en que una micropipeta ingresa y sale de una célula sin dañarla en el caso de una fecundación *in vitro*, un sorbete puede entrar y salir de una pompa de jabón debido a la fluidez de su estructura, similar a la de la membrana celular.

temas de endomembranas hasta la actualidad (Lozano, 2015)⁴. Esta progresión de los diferentes modelos sobre el límite celular, presentados en un desarrollo diacrónico, fue analizada desde un encuadre semanticista de las teorías científicas (Giere, 1992), y desde esa perspectiva se llevaron a cabo las diferentes reflexiones epistemológicas incluidas en el análisis. Así, lejos de proponer un relato a modo de “serie de descubrimientos”, en nuestro estudio la membrana celular fue caracterizada como un modelo teórico que se fue construyendo para especificar, para constreñir una diversidad de fenómenos que de alguna manera *se iluminaron* luego de la aceptación del modelo teórico de la célula como unidad constitutiva de los seres vivos.

Creemos que el análisis llevado a cabo permitió recuperar la complejidad del proceso de construcción del modelo seleccionado y puso a disposición insumos sustanciales para diseñar la enseñanza de los contenidos metacientíficos, relacionados con la carga teórica de las observaciones y los modelos analógicos en la producción científica. Ahora bien, los textos con las discusiones identificadas, los ejemplos y las experiencias, las analogías y demás insumos provenientes del estudio fueron integrados a una trama de actividades en la unidad didáctica que implicó un trabajo simultáneo de modelización de aspectos biológicos y metacientíficos.

A continuación se detallan algunos aspectos de interés sobre la implementación de la unidad didáctica y se exponen actividades y una producción de los estudiantes referida al trabajo sobre la idea clave epistemológica: *modelo analógico*.

- En la implementación de la unidad didáctica participaron 75 alumnos organizados en 16 grupos de trabajo; el análisis de las producciones se llevó a cabo con una muestra de 7 grupos que incluyeron 32 de los alumnos.

⁴ En un futuro artículo, que se encuentra en preparación, se presentará un estudio situado en el período de desarrollo de la microscopía electrónica, a mediados del siglo XX, en el cual Robertson ([1965], 1970) propone la unidad estructural para los sistemas de membrana y endomembranas y un modelo de evolución gradualista de las organelas, el cual fue discutido por la bióloga Lynn Margulis desde la perspectiva de la teoría endosimbiótica (Sampedro, 2002). En ese trabajo, la idea clave epistemológica está relacionada con “la construcción de los hechos científicos”.

- La situación problemática que inició las actividades se basó en la consideración de un hecho sociocientífico: el ingreso de una micropipeta a un óvulo para permitir una fecundación in vitro. Los alumnos debían producir modelos iniciales, expresados de manera gráfica, y textos complementarios para explicar cómo creían que era el límite del óvulo, el cual permitía la entrada y salida de una micropipeta y no sufría daños. El trabajo interesó en gran medida a los estudiantes, quienes en su mayoría describían el límite del óvulo semejante a una gelatina o a un aceite, o consideraban la presencia de poros muy pequeños por los cuales ingresaba y salía la micropipeta.

- Para dar curso a la modelización intermedia, se les ofreció a los estudiantes diferentes sistemas materiales para que confrontaran sus hipótesis iniciales y ofrecieran un modelo material análogo al fenómeno descripto.

- Luego de las primeras aproximaciones, que incluían sistemas aceite-agua bidimensionales diseñados por los alumnos, se les ofreció el texto que daba cuenta del episodio de las pompas de jabón de Quincke. Esta nueva perspectiva, que pudieron emparentar con la utilización de aceites que habían llevado a cabo, les permitió alcanzar un estado tridimensional muy apto para la comparación con el hecho sociocientífico abordado, ya que podían penetrar la pompa con un sorbete sin que esta colapsara.

- La línea de formación biológica continuó con el análisis químico de las pompas y luego de la membrana celular, mientras que la línea de formación metacientífica los puso a pensar y a producir textos breves sobre el sentido de la estrategia que había utilizado Quincke para explicar de manera sencilla su concepción sobre el límite de la célula. La Tabla 1 muestra textos producidos por los alumnos.

A partir de estas reflexiones de los alumnos sobre la comparación realizada por Quincke y también de las producciones llevadas a cabo en otra actividad, de tipo metacognitiva, que los puso a pensar sobre el sentido del trabajo con los sistemas materiales que ellos mismos llevaron a cabo, fue posible hacer una puesta en común en clase y aproximarse en conjunto a una idea sobre los modelos científicos y en particular los analógicos, que hoy es sostenida desde la concepción semántica de las teorías científicas (Giere, 1992). Esta idea consiste en que los modelos no son copias de la realidad sino representaciones,

que son similares a algo de la realidad que nos preocupa, y que podemos expresarlos de diferentes maneras, utilizando textos, gráficos, maquetas y también estableciendo comparaciones o analogías, entre dos situaciones, una conocida y otra nueva, que se desea conocer.

Grupo	¿Qué estrategia utilizó Quincke para explicar su idea? ¿Por qué?
G 2	<i>Quincke utilizó una analogía, la pompa de jabón, para presentar a sus pares la estructura de membrana que él pensaba que era correspondiente.</i>
G 3	<i>Su estrategia fue querer representar su modelo de una forma simple y concisa, comparando la membrana lipídica con la pompa de jabón, para un mejor entender de los demás.</i>
G 5	<i>Quincke, a partir de la observación de tejidos distinguió que se comportaba de manera similar al aceite, llegando a la conclusión que la célula presenta las mismas características que los lípidos. Una forma fácil de poder representar esa idea, fue la pompa de jabón, que presentaba características similares a la célula; como mantener su forma, elasticidad y movimiento. Además de conformar un límite celular.</i>
G 6	<i>La estrategia que usó fue la de hacer un modelo con las pompas de jabón. Lo hizo de ese modo porque podía usar materiales accesibles y fáciles de comprender relacionado con lo cotidiano.</i>
G 8	<i>Quincke utilizó un modelo como estrategia, este fue usar pompas de jabón para representar la membrana de una célula. Descubrió que la membrana es un fluido que no se mezcla con agua. El jabón está compuesto por aceites y al formar pompas de jabón se ve el movimiento de estos. Creemos que fue la mejor forma de representarlo (según él) ya que además las pompas también encierran aire, así como la membrana al interior de la célula. Utilizó la burbuja como modelo comparativo, usó un elemento de la vida cotidiana para representar la membrana.</i>
G 9	<i>La estrategia de Quincke fue la de comparar una burbuja de jabón con la cual representara (sic) lo que sucedía a nivel celular. Lo hizo de este modo para poder explicar a los demás ya que no se comprendía.</i>
G 15	<i>La estrategia que utilizó Quincke fue experimentar con una pompa de jabón, la membrana lipídica ya que el jabón tiene lípidos. Pensamos que lo hizo de ese modo porque otros científicos podrían recrearlo y poder comprobarlo fácilmente, como lo hicimos nosotros.</i>

Tabla 1. Reflexiones de los alumnos sobre la estrategia utilizada por Quincke.

Según Bahamonde y Rodríguez, la propuesta llevada adelante:

[...] tiene como propósito que los estudiantes se impliquen en problemas socio-científicos de actualidad, lleven a cabo procesos de modelización científica, anclados en una aproximación históricoepistemológica, que favorezca la apropiación de contenidos metacientíficos, en paralelo con la construcción de algunos modelos disciplinares estructurantes. (Bahamonde y Rodríguez, 2012, p. 1)

De este modo se consiguió vincular la modelización del fenómeno biológico con la modelización metacientífica, esto es, de la propia idea de modelo analógico, utilizando un episodio de historia de la ciencia (Lozano, 2015). Así, y tal cual lo propone Matthews (1994), el enfoque contextualista se convierte en una herramienta significativa para mejorar la enseñanza de las ciencias; en nuestro trabajo, creemos que esta visión se especificó en el contexto de la formación del profesorado en ciencias y cobró una importante dimensión, al constituirse como registro de reflexiones metacientíficas que serán significativas para la formación didáctica de los futuros profesores.

Otro aspecto a destacar es que el desarrollo del análisis histórico-epistemológico llevado a cabo ha dejado a disposición una serie amplia de descripciones y análisis epistemológicos sobre otros episodios históricos, que pueden ser utilizados como insumos para el diseño de otras unidades didácticas relacionadas con la enseñanza de la célula y en particular de la membrana celular.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADÚRIZ-BRAVO, Agustín. *Una introducción a la naturaleza de la ciencia: la epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales*. Buenos Aires: Fondo Editorial Económico, 2005.
- . Aproximaciones histórico-epistemológicas para la enseñanza de conceptos disciplinares. *Revista Virtual EDUCyT*, **1** (1): 107-126, 2010.
- ALBARRACÍN TEULÓN, Agustín. *La teoría celular*. Madrid: Alianza Editorial, 1983.
- ARIZA, Yefrin; ADÚRIZ-BRAVO, Agustín. La “nueva filosofía de la ciencia” y la “concepción semántica de las teorías científicas” en la didáctica de las ciencias naturales. *Revista de Educación en Ciencias Experimentales y Matemática*, **2** (2): 81-92, 2012.

- BAHAMONDE, Nora; RODRÍGUEZ, Mariana. Diseño de una unidad didáctica para el abordaje de asuntos socio-científicos en la educación secundaria: clonación humana, huella genética y aproximación histórico-epistemológica a la modelización del ADN. 2° Conferencia Latinoamericana del International History, Philosophy, and Science Teaching Group. Mendoza, 2012.
- BAKER, John R. The cell-theory: a restatement, history, and critique. *Quarterly Journal of Microscopical Science*, **93** (2): 157-190, 1952.
- BREWER, William; LAMBERT, Bruce. The theory-ladenness of observation: evidence from Cognitive Psychology. Boulder, CO, 1993. Pp. 254-259, in: *Proceedings of the Fifteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society*. Boulder, CO: University of Colorado, 1993.
- CAMPBELL, Neil; REECE, Jane. *Biología*. Madrid: Editorial Médica Panamericana, 2007.
- CFE. Consejo Federal de Educación. Núcleos de Aprendizajes Prioritarios, Ciencias Naturales, Campo de Formación General, Ciclo Orientado. Ministerio de Educación de la Nación. Buenos Aires: CFE, 2012.
- CHALMERS, Alan. *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?* [1976]. Madrid: Siglo XXI Editores, 1990.
- DRIVER, Rosalind; LEACH, John; MILLAR, Robin; SCOTT, Phil. *Young people's images of science*. Buckingham: Open University Press, 1996.
- ESTANY, Anna. *Introducción a la filosofía de la ciencia*. Barcelona: Crítica, 1993.
- FRANKLIN, Benjamin; BROWNRIGG, William; FARISH. Of the filling of waves by mean of oil. *Philosophical Transactions*, **64** (1): 445-460, 1774.
- GIERE, Ronald. *La explicación de la ciencia: un acercamiento cognoscitivo* [1988]. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 1992.
- HANSON, Norwood R. *Patterns of Discovery* [1958]. Cambridge: Cambridge University Press, 2010.
- HARRIS, Henry. *The birth of the cell*. New Haven, CT: Yale University Press, 2000.
- HIDALGO, Cecilia; DEVÉS, Rosa; LAGOS, Néstor. Organización molecular de las membranas biológicas. Pp. 3-32, in: LATORRE,

- Ramón; LÓPEZ-BARNEO, José; BEZANILLA, Francisco; LLINÁS, Rodolfo. *Biofísica y fisiología celular*. Sevilla: Universidad de Sevilla, 1996.
- IRZIK, Guroi; NOLA, Robert. A family resemblance approach to the nature of science for science education. *Science & Education*, **20** (7-8): 591-607, 2010.
- IZQUIERDO, Mercè. Fundamentos epistemológicos. Pp. 35-64, in: PERALES PALACIO, Francisco; CAÑAL DE LEÓN, Pedro (ed.). *Didáctica de las ciencias experimentales: teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. Madrid: Alcoy Marfil, 2000.
- KLEINZELLER, Arnost. The postulate of the cell membrane. Vol. 39, pp. 27-77, in: KLEINZELLER, Arnost (ed). *A history of biochemistry: exploring de cell membrane*. Amsterdam: Elsevier, 1995.
- KUHN, Thomas. *La estructura de las revoluciones científicas* [1962]. México, DF: Fondo de Cultura Económica, 2006.
- LANGMUIR, Irving. The shapes of group molecules forming the surfaces of liquids. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **3** (4): 251-257, 1917.
- LEDERMAN, Norman. Students' and teachers' conceptions of the Nature of Science: a review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, **29** (4): 331-359, 1992.
- . Views of Nature of Science questionnaire: toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, **39** (6): 497-521, 2002.
- . Research on Nature of Science: reflections on the past, anticipation of the future. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, **7** (1): 1-7, 2006.
- LOZANO, Eduardo. *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*. Neuquén, 2015. Tesis (Doctorado en Enseñanza de las Ciencias Naturales con Orientación en Biología) – Universidad Nacional del Comahue⁵.

⁵ Disponível em: <<http://www.revistaadbia.com.ar/ojs/index.php/adbia/article/view/385/pdf>>. Acesso em 01 abril 2016.

- MATTHEWS, Michael. Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, **12** (2), 255-278, 1994.
- . Changing the focus: from nature of science (NOS) to features of science (FOS). Pp. 3-26, *in*: KHINE, Myint Swe (ed.). *Advances in Nature of Science research: concepts and methodologies*. Dordrecht: Springer, 2012.
- McCOMAS, William. The principal elements of the nature of science: dispelling the myths. Pp. 53-70, *in*: McCOMAS, William (ed.). *The Nature of Science in science education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1998.
- MOURITSEN, Ole. Model answers to lipid membrane questions. *Cold Spring Harbor Laboratory Press*, **10**: 1-15, 2011.
- REVEL CHION, Andrea; MEINARDI, Elsa; ADÚRIZ-BRAVO, Agustín. Elementos para un análisis histórico-epistemológico del concepto de salud con implicaciones para la enseñanza de la Biología. *Filosofia e História da Biologia*, **8**(1): 1-19, 2013.
- ROBERTSON, David. La membrana de la célula viva [1965]. Pp. 75-83, *in*: VILLANUEVA, Julio R (ed.). *La célula viva*. Madrid: Blume, 1970. (Selecciones de Scientific American)
- SAMPEDRO, Javier. *Deconstruyendo a Darwin: los enigmas de la evolución a la luz de la nueva genética*. Barcelona: Crítica, 2002.
- SCHUSTER, John Andrew. *The scientific revolution: an introduction to the History and Philosophy of Science*. Textbook from the Program in History & Philosophy of Science School of History and Philosophy of the University of New South Wales. Sidney, 1995.
- VAZQUEZ ALONSO, Ángel; MANASSERO MAS, María Antonia. Una taxonomía para facilitar la enseñanza explícita de la naturaleza de la ciencia y su integración en el desarrollo del currículo de ciencias. *Interações*, **34**: 312-349, 2015.

Data de submissão: 01/04/2016

Aprovado para publicação: 27/05/2016