

La célula modelizada: una reflexión necesaria en el ámbito de la enseñanza

Natalia Ospina Quintero y Lydia Galagovsky

Instituto CEFIEC, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires Buenos Aires, Argentina.

Recibido:

Recibido en: 13/06/2017

| Aceptado:

Aceptado en: 16/07/2017

Contacto: Natalia Ospina Quintero - nataliaospinaquintero@gmail.com

Resumen

Numerosos trabajos de investigación en Didáctica de las Ciencias Naturales muestran fallas generalizadas en el aprendizaje del concepto de célula en estudiantes pre-universitarios.

El presente trabajo propone que dichas fallas podrían deberse a tensiones epistémicas de dos tipos: por un lado, la no diferenciación de las intenciones argumentativas que en el transcurso del tiempo se emplearon para representar el concepto de célula y, por otro lado, la no discriminación entre representaciones instrumentales y representaciones artísticas.

Para analizar dichas tensiones epistémicas se desarrolla una revisión histórica del concepto de célula y de sus representaciones, desde fuentes literarias originales (siglo XIX) hasta fuentes de transposición a la enseñanza, exemplificadas con libros de siglos XIX, XX y recientes. Esta revisión muestra que los primeros investigadores tenían intención de mostrar la diversidad de las entidades celulares observadas bajo diferentes metodologías de tinción e instrumentales, como argumento interpretativo para sostener la existencia y funcionalidad del concepto de célula. En cambio, a partir del siglo XX la tendencia de los autores fue la de generar una representación modelizada que reuniera en un mismo esquema gráfico todas las posibles organelas.

Palabras clave: célula, historia de la célula; representaciones sobre célula.

Summary

Widespread mistakes in pre-university students' misconceptions about the concept of cell have been showed in Science Teaching researches.

The present work proposes that those misconceptions may be driven from epistemic tensions about historical arguments and graphical representations on cell development.

To analyze those tensions this work makes an historical review of the cell concept and its graphical representations from the original literary sources (19th century) to teaching sources, exemplified by 19th and 20th century and recently published textbooks. This review shows that pioneer scientists intended to show the diversity of cellular entities observed under different staining and instrumental methodologies as an interpretive arguments to support the existence and functionality of the cell concept. On the other hand, from the twentieth century the tendency of the authors was to generate a representation of the cell as a model.

Keywords: cell, history of cell, cell representations.

Introducción

En una amplia revisión de investigaciones sobre enseñanza de la Biología, Palmero (2000) [1], encontró que entre los años 1980 y 2000 un 70% de dichos trabajos identificaba fallas de comprensión en el concepto célula.

Como breves ejemplos representativos citamos dos trabajos [2,3], en el primero de ellos Dreyfus y Jungwirth, en 1988 [2] publicaron que de 219 alumnos preuniversitarios, el 40 % presentó deficiencias serias en cuanto al concepto "célula viva". Dentro de los hallazgos más distintivos, se encontró que los alumnos mencionaban que: "*el núcleo supervisa la función de la célula de la misma manera que el cerebro supervisa la función del cuerpo*"; "*la célula crece hasta que recibe una orden del cerebro para dejar de crecer*". Así mismo, con respecto a las magnitudes de entidades presentes en la célula, mencionaron que: "*las moléculas de proteína son más grandes que la célula*"; y en cuanto a otras funciones celulares se obtuvieron apreciaciones como: "*hay pulmones pequeños en células individuales*" y "*la membrana es selectiva en el sentido que rompe las moléculas que no deben penetrar*".

Caballer y Jiménez en 1992 [3], concluyeron que si bien la mayoría de los estudiantes de 14-16 años respondían que los seres vivos están formados por células, un porcentaje no despreciable de ellos vacilaba en su respuesta sobre si los vegetales están constituidos por células. Así mismo, dicha población de estudiantes no relacionaba la estructura celular con funciones fisiológicas tales como el transporte, el crecimiento, o las funciones de secreción. Las autoras señalaron que si no se comprende previamente el concepto de célula existiría una gran dificultad a la hora de entender el funcionamiento de los organismos complejos como resultado del funcionamiento celular coordinado. Estas autoras supusieron que el no "ver" células durante el aprendizaje escolar a través del microscopio podría ser una deficiencia que actuara como factor preponderante en la falta de aprehensión de este concepto. Así mismo, sugirieron que se debería: "*Proveer de imágenes reales de la estructura celular de los seres vivos que faciliten una elaboración mental de los modelos biológicos*".

Investigaciones recientes [4-8] confirman dichas dificultades. Por ejemplo, Flores y Gallegos en 2003 [4], realizaron una investigación con 1200 alumnos de secundario de diferentes colegios de la Ciudad de México, y encontraron que el 43% de dichos alumnos creía que las células animales son generalmente redondas y el 72.3% creía que el tamaño de las células es similar al de las moléculas y el de los átomos.

Megascini, en 2005 [5], señaló que luego de la implementación y evaluación de una experiencia didáctica sobre tejidos vegetales, con alumnos de primer año de Licenciatura en Biología de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de La Plata, Argentina, identificó las siguientes preconcepciones erróneas: i. Respeto del tema de organelas: los estudiantes nombraron entre ellas elementos de la pared celular: *ceras, cutina, cutícula*; ii. Respeto del tema vesículas, los estudiantes nombraron: *microtúbulos, tilacoides, endomembranas y estructuras de pared celular*; y iii. Respeto del tópico forma celular, el 82% de los alumnos hizo referencia a la disposición de las células: *juntas, compactas, varias capas, pegadas; o al tamaño: grandes, chicas; o a otros atributos como fina, gran superficie, huecas, muertas, vivas, gruesas, anchas, engrosadas y rígidas*.

Riemeie y Gropengießer, en 2008 [6], evaluaron a alumnos de noveno grado de una escuela del norte de Alemania acerca de por qué crece una planta de cebolla. Los resultados indicaron que los alumnos asociaban crecimiento con *madurez*, pero no hubo correlaciones entre la presencia de mayor cantidad de células como componentes del crecimiento.

Legey y colaboradores, en 2012) [7], realizaron una indagación sobre ideas previas en 235 estudiantes ingresantes a una universidad pública de Rio de Janeiro, Brasil, y encontraron que existen limitaciones en comprender correctamente el concepto de célula, respecto de asignarle diferenciaciones, funciones y dimensiones. Finalmente Buitrago, en 2014 [8], identificó que alumnos de primeros años de secundario de la ciudad de Manizales, Colombia, tenían concepciones de célula como “*la imagen de un huevo frito, plano y estático*”, y tenían dificultad tanto para reconocer las estructuras principales y los organelos celulares con su función, como para reconocer las diferentes clases de células con sus características.

En nuestras investigaciones [9], se encontró que de 34 estudiantes avanzados de profesorados en biología y en química el 42% afirmó que la tridimensionalidad exhibida en el videojuego KOKORI [10] ambientado en la imagen de una célula eucariota -ver Figura 1- favorecería la comprensión de la idea de célula real, y uno solo de ellos mencionó que tal imagen es un “modelo de célula”. Estas respuestas estarían indicando una idea generalizada de que una correcta comprensión del concepto de célula estaría centrada en su concepción tridimensional, y no en su carácter de “modelo”.

La Figura 1 muestra dos versiones gráficas de una célula animal eucariota modelizada: a la izquierda un esquema de corte bidimensional [11] y a la derecha un escenario tridimensional donde se desarrolla el videojuego KOKORI. Ambos esquemas son representaciones artísticas; es decir, sus elementos gráficos no provienen de mediciones por instrumento.

fig1

Figura 1: Representaciones artísticas sobre el concepto de célula. A la izquierda, representación bidimensional; a la derecha, representación tridimensional en el videojuego KOKORI

Dado que la célula, como concepto, tiene más de 100 años de aceptación en el campo de la Biología, cabe preguntarse las razones subyacentes a tantas evidencias sobre el no aprendizaje de dicho concepto en estudiantes pre-universitarios.

Dos marcos epistemológicos de la Didáctica de las Ciencias Naturales convergen para un análisis: por un lado, la evolución histórica del concepto de célula hasta su modelización; y, por otro, una necesaria discriminación entre *representaciones instrumentales* y *representaciones artísticas* [12]. Las representaciones instrumentales son imágenes obtenidas con la mediación de algún instrumento; es decir, tienen un origen técnico (linciones) o tecnológico (microscopios de varios tipos). Las representaciones artísticas, por el contrario, son dibujos, esquemas o animaciones cuyo origen es la voluntad explicativa de algún autor. Ambos tipos de representaciones suelen ser reiteradamente utilizadas en materiales de enseñanza (libros, manuales y contenidos digitalizados). Una falta de reflexión epistemológica sobre representaciones, sus orígenes e implicancias, podría derivar en que lectores no especialistas no llegaran a discriminar qué es una “entidad real” o una “entidad modelizada”, derivadas de representaciones instrumentales o representaciones artísticas, respectivamente.

El objetivo del presente trabajo es hacer una breve revisión histórica sobre el concepto de célula y sus representaciones, direcciónnada por las siguientes preguntas:

1. ¿Qué características exhiben las representaciones de célula presentes en fuentes originales que plantearon por primera vez su carácter de entidad fundamental de la materia viviente? Esta pregunta se bifurca por la posible vinculación entre el concepto modelo de célula y el instrumento de microscopía que se utilizó para su generación.
2. ¿Qué características exhiben en textos de enseñanza las imágenes o representaciones sobre célula?

Breve relato histórico sobre el origen del concepto de célula

En un texto publicado en 1870 por James Tyson [13], se hace referencia a que Wolf en 1759 [13, pág., 19], señaló que: “*Todo órgano se compone, al principio, de una masa de fluido viscoso y nutritivo que no posee ninguna organización de ningún tipo, sino que está compuesta en su mayor parte de glóbulos. En esta masa semi-fluida se desarrollan cavidades que permanecen redondeadas o poligonales*”.

Esas cavidades no se tomaban como entidades independientes, ni anatómica ni fisiológicamente, sino que se le conocía como “*vis essentialis*”; es decir, eran el resultado pasivo de la vida y no eran portadoras de la fuerza organizadora de la vida.

En el mismo texto de Tyson se menciona que en 1757 el fisiólogo Albrecht von Haller enunció que la composición de los tejidos vegetales y animales se debe a la combinación entre: fibras y hormigón organizado [ibíd., pág. 17]. Resumidamente, para proponer su teoría fibrilar, Haller

manifestó que las fibras pueden ser descriptas como líneas formadas por puntos conglomerados en una especie de goma: (el hormigón organizado).

La teoría fibrilar predominó durante gran parte del s. XVIII [14] y tomó fuerza debido al carácter fibroso que exhibían algunos tejidos ya identificados, como por ejemplo el muscular. Ese predominio se evidencia en tratados de fisiología de la época, tal como la traducción al castellano de *Précis élémentaire de physiologie*, escrito por el francés François Magendie (1828) [15], en el que se encuentra un apartado denominado “Sólidos del cuerpo humano” con la siguiente mención determinante a la teoría fibrilar: “*Las partes sólidas del cuerpo presentan un sin número de formas diferentes; estos sólidos son los que forman los órganos, los tejidos (...); su análisis mecánico demuestra que pueden reducirse a fibras delgadas*” [15, Pág.1].

En 1822 con los postulados de Heusinger [16, pág. 112] se da el paso de la teoría fibrilar a la globular. Este científico alemán postuló que todas las fibras se formaban mediante la convergencia lineal de pequeños glóbulos; es decir, señaló que glóbulos serían los componentes de la fibra. Sin embargo, en 1860 Virchow [14] propuso que el paradigma de la teoría globular podría haber tenido su origen en una malinterpretación de las observaciones con microscopio. Este autor señaló: “*Esta visión fue en parte atribuible a las ilusiones ópticas en la observación microscópica. El método censurable que prevaleció en toda la última parte y en parte del presente siglo -de hacer observaciones (con instrumentos menos indiferentes) en el pleno resplandor del sol- produjo cierta dispersión de luz en casi todos los objetos microscópicos. Y la impresión comunicada al observador era que no veía nada más que glóbulos*” [14, pág. 25].

Paralelamente, una concepción de célula como constituyente “individualizado” de los seres vivos comenzó alrededor de 1840 con la Teoría Celular, atribuida conjuntamente a las investigaciones que por separado llevaron a cabo los alemanes: Matthias Schleiden en botánica, y Theodor Schwann en fisiología animal y vegetal. Estas propuestas fueron posteriormente llevadas al campo de las investigaciones en patología celular por el médico alemán Rudolf Ludwig Karl Virchow.

La Teoría Celular se basaba en tres principios fundamentales. En primer lugar: se estableció que todos los organismos vivos se componen de células, es decir, se sugería la estructura celular como principio irreducible de la vida. En segundo lugar, se proponía un mecanismo por el cual se forman las células, basado en los presupuestos teóricos del *vitalismo*, según el cual los organismos vivos compartirían una esencia o principio que les permite diferenciarse de las entidades inertes. Finalmente, que sostuvo que toda célula proviene de otra célula.

Según Schwann [17] la formación de las células constituía a la naturaleza orgánica lo que la cristalización a los cuerpos brutos, y se daba a expensas de una *sustancia sin textura determinada*, que, merced de su grado de *vitalidad*, daba origen a los nuevos elementos celulares. En el denominado *citoblastema* aparecía primero un pequeño corpúsculo (el futuro nucleolo), que se engrosaba y atraía una nueva capa de sustancia, transformándose en *núcleo* sobre el cual bien pronto se aplicaría una nueva capa (el futuro *protoplasma*). Finalmente, al endurecerse la superficie de esta segunda capa, se generaba la membrana celular. Esta teorización fue ampliada Schleiden [18] al ámbito de las células vegetales. Todos estos relatos

se apoyaban en observaciones de microscopios con precisiones o aberraciones variables.

La microscopía y su relación con el fenómeno observado

La aparición del microscopio se registra a finales del s. XVI, mucho tiempo después que hubiera sido reconocido el efecto óptico de la combinación de lentes. Sin embargo, la mayoría de las fuentes consultadas dan cuenta de que la *invención* del microscopio compuesto se presentó en Holanda, aproximativamente en 1590, cuando Zacarias Jansen (fabricante de anteojos) y su hijo Hans, construyeron un instrumento que tenía un aumento de 10 veces el tamaño real [19 y 20].

Muchos autores han propuesto la idea de linealidad entre la aparición del microscopio, sus sucesivas mejoras, y la comprensión del modelo de célula. Por ejemplo, en el prefacio original del libro de Robert Hooke [21, págs. 13 y 14] (Figura 2) se señalaba “*Con respecto a los sentidos, en prevención de sus flaquesas con instrumentos y, por así decirlo, agregando órganos a lo natural, en los últimos años se ha logrado esto de manera prodigiosa, en beneficio de todo tipo de conocimiento útil, por la invención de lentes ópticos. Por medio de los telescopios, no hay nada tan lejano, que puede ser representado a nuestra vista. Y con la ayuda de los microscopios, no hay nada tan pequeño, como para escapar de nuestra investigación; de ahí que haya un nuevo mundo visible para el entendimiento*”.

fig2

Figura 2: Captura de pantalla del prefacio original del libro de Hooke [21]

El mismo espíritu de optimismo con respecto al microscopio se percibía en la Doctrina Celular de James Tyson [13, pág.15]: “*Es imposible estimar la ayuda que el microscopio nos ha brindado al abrir la estructura minuciosa de los animales y vegetales, y al proporcionar así una base fiable para construir una doctrina de organización*”. Sin embargo, la concepción de linealidad que subyace estas ideas no explicaría los vericuetos que se identifican en la historia de la construcción del “modelo de célula”: desde la edición de Micrographia en 1665 hubo un periodo de aproximadamente dos siglos de falta de consenso con respecto a la composición estructural mínima del mundo viviente.

En 2002, Brian Ford [19] presentó una revisión de la historia del microscopio en la que replicó experimentos con microscopios y muestras originales. Sus experimentos exhibieron buena nitidez, pero no es posible plantear una relación directa entre las técnicas instrumentales usadas por investigadores pioneros y la posibilidad de haber generado determinado modelo en el ámbito científico; es decir, lo que veían en aquellos antiguos microscopios no pudieron ser experiencias sensoriales definitorias para tomar partido por una o por otra posición teórica. Esta reflexión epistemológica da cuenta de que el carácter de modelo explicativo sobre la unidad de la vida no derivó de la mejora sucesiva de los instrumentos de microscopía, sino de la imaginación de los investigadores y su afán de proponer mecanismos teóricos. Efectivamente, la observación ingenua, propuesta como el tradicional “primer paso del método científico” ha sido ampliamente superada por visiones epistemológicas posteriores al

positivismo lógico [22 y 23], el estudio de la historia de las ciencias muestra que las interpretaciones sobre los fenómenos estudiados siempre estuvieron atravesadas por la carga teórica y por los intereses investigativos de aquél que “observaba”.

En *International Review of Cytology* de 1956 [24, Pág.456] Sjöstrand había ya mencionado la no linealidad entre los fenómenos observados y la teorización al respecto; es decir se ponía en discusión la relación entre el perfeccionamiento del instrumento y el robustecimiento del corpus de conocimiento proveniente de la utilización del mismo. Como ejemplo ilustrativo el autor menciona que si bien el primer microscopio electrónico de transmisión fue construido en 1931 por Max Knoll y Ernst Ruska, en Berlín [25], la microscopía electrónica permitió un entendimiento más preciso de la morfología de las organelas, pero la mayoría de éstas ya habían sido observadas mediante técnicas de microscopia de luz.

Representaciones instrumentales y artísticas sobre célula: una historia paralela

Para poder discutir acerca de la transformación histórica de la representación del concepto de célula, se analizarán cuatro etapas. En primer lugar, las fuentes literarias originales del siglo XIX, provenientes de los trabajos pioneros de tres grandes teóricos; en segundo lugar, dos fuentes de transposición primaria del siglo XIX provenientes de textos utilizados en contextos de enseñanza del tema célula. En tercer lugar, tres libros de texto para enseñanza editados en el s. XX; y, finalmente tres libros de Biología recientes y de uso frecuente en niveles secundario y universitario.

Representaciones y explicaciones en fuentes literarias originales

Para el presente trabajo se acudió a tres libros originales (fuentes de literatura primaria) editados en el s. XIX que cimentaron las bases de la llamada *Teoría Celular*, con el objetivo de analizar las diferencias en sus *representaciones* y sus respectivas explicaciones sobre célula:

- o Theodor Schwann (1847) [17]
- o Matthias Jakob Schleiden (1849) [18]
- o Rudolf Ludwig Karl Virchow (1860) [14]

Theodor Schwann [17] amplió la propuesta que explicaba cómo se originan las células con el tejido cartilaginoso de rana. Defendió un proceso de formación universal, aunque aceptaba la existencia de diferentes tipos de células. Matthias Jakob Schleiden [18] mostró la variabilidad celular en el caso de tejidos vegetales. Rudolf Ludwig Karl Virchow [14] recogió los presupuestos teóricos de Schwann y Schleiden para explicar patologías médicas. Sostuvo el tercer principio que caracterizó a la Teoría Celular dentro de su marco teórico acerca de la morfología celular.

- *Del texto de Schwann*

Schwann expuso que hay células que no forman parte de un tejido y que se encuentran aisladas, “flotando en fluidos”, como las células de la sangre y de la linfa; y, describió la existencia de diferentes tipos de tejidos: cartilaginoso, óseo,

adiposo, elástico, muscular, nervioso y epitelial. Argumentó que si bien las células tienen características en común, poseen un carácter diverso, y que esa variabilidad es lo que determina las funciones fisiológicas. Sobre la base de esa diversidad, morfológica y fisiológica, Schwann planteó su presupuesto teórico más representativo: sostener que la generación de las células se da por un único proceso, sin importar el tipo de tejido. En su libro de 1847 se ejemplifica la generación de nuevas células con la formación de cartílago en la Rana esculenta (*Pelophylax esculentus*). La Figura 3 exhibe una representación artística basada en observaciones de microscopio, y la explicación, extraída del libro original

fig3

Figura 3: Representación artística basada en la observación por microscopio y explicación acerca de la formación de tejido cartilaginoso, en Schwann [17, pág. 22]. Nótese que a pesar de tratarse de células de un mismo tejido, su representación difiere en forma y tamaño.

Nótese que la explicación está abocada en su totalidad a sustentar los principios de formación de las células y aunque se trata de un tejido, cuyas células se suponen idénticas, el autor trata de relevar las diferencias entre ellas, menciona distinciones en tamaño y superficie. Al comienzo de la descripción se especifica el carácter representativo del dibujo en cuestión que proviene de una observación al microscopio.

- *Del texto de Schleiden*

Schleiden señaló que la generación de células vegetales se podía concebir de manera equiparable y análoga a las células animales, aceptando de esta manera lo postulado por Schwann. Schleiden argumentó que existe una extensa diversidad en células vegetales y que esa diversificación tiene origen en las etapas tardías de formación de las mismas. En el capítulo titulado Forma de la célula vegetal, aseguraba que: “*Cuando la célula ha alcanzado cierto grado de desarrollo, se produce un cambio esencial en su modo de nutrición: la celulosa recién formada se deposita sobre su superficie interior como una capa de hormigón. Sin embargo, esta deposición no tiene lugar como una membrana continua, sino que se forma en la dirección de una espiral, como una fibra o banda en espiral*”.

“*Las agujas individuales de las fibras, o manchas particulares de las agujas, a menudo crecen juntas. De estas circunstancias resulta una configuración muy variada de la pared celular, que puede ser comprendida bajo dos divisiones. Primero, donde las fibras son claramente separables (células fibrosas); y, en segundo lugar, donde las fibras están tan crecidas juntas, que aparecen como una membrana continua sujetada con pequeños poros (células porosas)*” [18, pág. 41].

La Figura 4 muestra dos ejemplos típicos –pues hay decenas en el texto original de 1846- de representaciones artísticas basadas en observaciones de microscopio que dan cuenta de la diversidad de células vegetales. Schleiden ilustra las diferencias que pueden tomar las células porosas de diferentes especies vegetales, debidas a la forma como se deposita la celulosa en el momento de la maduración de la planta.

fig4

Figura 4: Representaciones artísticas basadas en observaciones de microscopio respecto a dos tipos de células porosas de diferente especie vegetal descriptas por Schleiden [18, pág. 45]. A lo largo del documento de Schleiden no se encuentra un gráfico en el que converjan las características de una “célula vegetal modelo”, sino que presenta una morfología tan diversa como la cantidad de especies vegetales observadas por él.

- Del texto de Virchow

Virchow es reconocido por haber postulado que el origen de una célula es otra célula: “Poco estamos dispuestos a conceder ya sea en la histología fisiológica o patológica, que una nueva célula puede construirse a sí misma fuera de cualquier sustancia no celular. Cuando surge una célula, allí debe haber existido previamente una célula (*omnis cellula e cellula*), del mismo modo que un animal sólo puede brotar de un animal, una planta sólo de una planta” [14, pág. 27].

En su tratado de 1860, acepta que la composición última de los seres vivos son las células. Virchow sostuvo que ni las fibras, ni los glóbulos, ni los gránulos elementales podían considerarse como puntos de partida. La Figura 5 desarrolla ejemplos de representaciones artísticas basadas en observaciones de microscopio sobre la evolución de vida de una célula cartilaginosa. Se advierte la presencia de “partes” específicas que definen la célula: una membrana, un núcleo y lo que hasta ese momento se conocía como *contenido celular*.

fig5

Figura 5: Representaciones artísticas basadas en observaciones de microscopio respecto a la evolución de vida de una célula de cartílago (Virchow, pág. 45). Nótese la diferenciación de contenido en cada caso, lo que para esta época denotaba la etapa de desarrollo de la célula. La conclusión resulta obvia: los primeros investigadores que postularon la existencia de células estaban interesados en describir sus diferencias entre los diferentes tejidos; e, incluso, sus diferentes aspectos dentro de cada tejido.

Primera transposición de representaciones y explicaciones del concepto de célula en libros de texto del siglo XIX

Se han elegido dos libros de texto típicos:

- o Rudolph Albert von Kölliker (1854) [26]
- o Henry Alleyne Nicholson (1872) [27]

Las características comunes identificadas en estos libros son dos. En primer lugar, que todas las descripciones y explicaciones se encontraban sustentadas en el paradigma reinante del vitalismo; es decir, acuerdan con la teorización según la cual el mecanismo de generación de células se da mediante la presencia de un bioplasma (o protoplasma), portador de la fuerza vital. En segundo lugar, los textos de esta categoría reducen la célula a toda entidad constituida por tres partes: pared celular, contenido celular y núcleo.

La primera referencia de von Kölliker [26] es coetánea y retoma los planteamientos de Schleiden y Schwann. En dicho manual, un capítulo titulado “*La anatomía general de los tejidos*”, desarrollaba la naturaleza de las “partes elementales”, dentro de las cuales se aceptaba a las células como las más representativas e importantes. En este libro se describen

varios tipos de célula, provenientes de tejidos diferenciados y se ejemplifica con el dibujo de células nerviosas. La Figura 6 muestra una representación artística basada en la observación con microscopio y la explicación sobre las células nerviosas.

fig6

Figura 6: Extraída de Kölliker. Representación artística, apoyada en observaciones microscópicas de células nerviosas [26, pág. 44]. Nótese que a pesar de tratarse de células de un mismo tejido, su representación difiere en forma y tamaño.

En *Introduction to the study of Biology*, Nicholson [27] señalaba que tanto en animales como en plantas la materia protoplasmática delimitada por una pared se conocía con el nombre de *célula*. Se sugería también que el estudio de las células podría ser llevado a cabo mediante el análisis de organismos unicelulares, ya que al ser una “masa de bioplasma sin estructura” presentaban condiciones cercanas a las características de una célula. Por este motivo, el ejemplo representativo que utilizaron los autores fue la levadura. La Figura 7 muestra dibujos del hongo, teñido y visto al microscopio.

fig7

Figura 7: Representación artística a partir de observación en microscopio con respecto al organismo fúngico levadura, tomada de Nicholson [27, pág. 72].

Se dejaba claro, sin embargo, que la mayoría de los organismos se encontraban compuestos de cúmulos de células, conformando diferentes tipos de tejido, pero que todas las células compartían los tres principios básicos: un contenido, un núcleo y una membrana que los rodea. Además, se reconocía el núcleo como una parte extensivamente identificada en la composición de las células se explicaba como sigue: “*Muy en general, pero de ninguna manera universalmente, el contenido de la célula exhibe en un lugar un cuerpo redondeado u oval definido, que se denomina el “núcleo”. Esto varía mucho en la estructura real, a veces sólida, y a veces compuesta de gránulos. No cabe duda de que el núcleo desempeña un papel importante en las células vivas, pero las opiniones siguen divididas en cuanto a sus funciones exactas, algunas consideran que es agente más importante en la actividad celular, mientras que otros lo consideran como una parte relativamente insignificante*” [27, pág. 74].

Un rasgo importante de estas representaciones artísticas es que fueron construidas haciendo mención de las tinciones utilizadas. Estas tinciones tuvieron impactos en los aspectos finales de los dibujos. La Figura 8 muestra un dibujo que ilustra los componentes celulares “típicos”.

fig8

Figura 8: Representación artística con respecto a las “partes irreducibles” de una célula, por Nicholson [27, pág. 73]

Nuevamente, se concluye que en los libros utilizados para la enseñanza del nuevo conocimiento sobre células, los autores del siglo XIX continuaban mostrando la diversidad de células individuales, mediante representaciones artísticas donde hacían referencia a los rasgos surgidos a partir de tinciones de las muestras.

Como ejemplos típicos analizaremos tres casos de libros de texto para la enseñanza universitaria editados durante el siglo XX:

- o Edmund W. Sinnott (1935) [28].
- o Harold Munro Fox (1942) [29].
- o Stelian Oprescu (1971) [30].

En la presentación que Sinnott [28] realiza sobre célula vegetal, se muestra una representación artística cuya intención no es reproducir una célula especial de algún tejido, sino generar un dibujo que modelizara todos los componentes posiblemente encontrados en una célula vegetal, tal como se muestra en la Figura 9.

fig9

Figura 9: Representación artística de una célula vegetal. En la explicación se revela la intención de modelizar en [28, pág. 36].

En el libro de Fox [29] el capítulo que explica el concepto de célula se titula Protoplasm and cells, lo cual sugiere que a pesar de la época –entrado el s. XX– se mantenía el término de protoplasma que había sido utilizado dentro del paradigma del vitalismo. La Figura 10 es un registro fotográfico de la superficie de una hoja, donde se señala la identificación de células vegetales; se trata de una representación instrumental [12]. Este tipo de registros documentales gráficos tomados directamente de las vistas provenientes de instrumentos comenzó a hacerse frecuente a partir de la década del ´40, para ilustrar libros de texto.

fig10

Figura 10: Fotografía de un corte histológico, en Fox [29, pág. 51].

En ese mismo libro [29, pág. 56] se describen células especializadas en diversas funciones con representaciones artísticas. Estas representaciones son modelizadas con fines de enseñanza, pues son reconstrucciones artísticas a partir de la observación por microscopías de innumerables cortes histológicos. Un claro ejemplo se muestra en la Figura 11, que es una representación artística de una glándula, en la que se releva la ubicación de las células secretoras y el conjunto de capilares sanguíneos.

fig11

Figura 11: Representación artística de una glándula, se muestran las partes componentes, entre las que se encuentran las células secretoras. Tomado de Fox, M. [29, pág. 56].

Por último, en el libro de Oprescu [30] se encuentra una comparación entre representaciones artísticas modelizadas de una célula animal y una vegetal -Figura 12-, según este autor los dos tipos celulares presentarían: aparato de Golgi, citoplasma, núcleo, nucléolo, mitocondria, membrana plasmática y ribosoma, y se diferenciarían entre sí por algunas partes distintivas, que en el caso de la célula vegetal serían: pared celular, vacuola y cloroplasto, y en cuanto a la célula animal: lisosoma y centrosoma.

Es decir, las representaciones artísticas tienen desde entonces la función de presentar un “modelo simplificado y generalizador”, con objetivos de enseñanza. Se observa que, a diferencia de las anteriores representaciones, en ésta –por su actualidad- se representan estructuras de muchas organelas que componen el interior de la célula, ya que para esta época se concebía a la célula como una entidad altamente estructurada.

fig12

Figura 12: Representación artística comparativa de células animal y vegetal. Extraído de Oprescu (pág. 25, 1971).

Partes traducidas al castellano: 1. Lisosoma, 2. Aparato de Golgi, 3. Citoplasma, 4. Núcleo, 5. Nucleolo, 6. Mitocondria, 7. Membrana Plasmática, 8. Ribosoma, 9. Centrosoma, 10. Pared Celular, 11. Vacuola, 12. Cloroplasto.

La conclusión parcial es que desde el siglo XX, tras la aceptación de la Teoría Celular, los libros de enseñanza hicieron hincapié en lo que las células de diferentes tejidos tendrían en común. Comenzó, por lo tanto, una profusión de representaciones artísticas modelizadas para explicar el concepto de célula

Libros de biología recientes y de uso frecuente en los niveles secundario y universitario

Si bien se consultaron diferentes libros [31-36] se seleccionaron como representativas para analizar en el presente trabajo imágenes de *célula* y sus respectivas explicaciones de un libro de nivel universitario [31] y dos libros destinados al nivel secundario [32 y 33].

o De Robertis, E y De Robertis, E (1988) [31].

o Barderi, M G; Cuniglio F; Fernández, E; Haut, G; López, A; Lotersztain I y Shipani F (1998) [32].

o Bisheimer, V; Capurro, A; Cuniglio, F; Ferretti, V; Olivares, A; Saullo, S y Soave, G (2008) [33].

En primer lugar, se analizó el libro de consulta universitaria inicial *Fundamentos de Biología Celular y Molecular*, de De Robertis y De Robertis [31]. La Figura 13 muestra lo que en el libro se llama *la ultraestructura de una célula animal ideal* (se extrajo únicamente el epígrafe, dado que el texto acompañante es extenso, abarca varias páginas y refiere a explicaciones detalladas de cada una de las estructuras, así como a la diversidad morfológica de las células eucariotas).

fig13

Figura 13: Representación artística con respecto a un esquema de célula eucariota animal, encontrada en el libro universitario de De Robertis y De Robertis [31, pág. 22].

En este libro coexisten representaciones artísticas e instrumentales, nótese que la Figura 13 reviste de una particularidad: el texto menciona que la imagen es un *esquema ideal*, la palabra *esquema* denota el uso de íconos que simbolizan una entidad y el adjetivo *ideal* implicaría que se trata de una construcción prototípica, modelizada.

Las Figuras 14 y 15 fueron tomadas del libro: *Biología. Citología, anatomía y fisiología* [32] de Santillana Editorial. La Figura 14 es una micrografía de tejido vegetal y la Figura 15 muestra varias representaciones artísticas que simbolizan la formación de una célula mediante sus constituyentes moleculares jerárquicamente organizados.

fig14

Figura 14: Micrografía de una célula vegetal presentada en un libro de enseñanza de 1998 [32, pág. 56].

En la siguiente página de este mismo texto se encuentra la imagen de la Figura 15, esta imagen no se encuentra acompañada de un epígrafe, puesto que la explicación está en el texto.

fig15

Figura 15: Representaciones artísticas encadenadas, encontradas en un libro de secundaria de 1998 [32, pág. 57].

Estas dos imágenes fueron elegidas con el objetivo de ilustrar la coincidencia de representaciones de diferente tipo en un mismo capítulo: si bien la primera es una fotografía – y ello estuvo explícito en el texto –, la figura siguiente nombra como *célula* una imagen que no guarda ninguna relación con esa foto previa, presenta además una sucesión de representaciones artísticas cuya construcción implica un recorte conceptual complejo que se da por sobreentendido en el texto. En esa misma figura se evidencia la coexistencia de entidades modelizadas que requerirían de aclaraciones con respecto a las dimensiones y los códigos gráficos utilizados. Por ejemplo, cuando se compara el tamaño relativo al átomo de hidrógeno con respecto al *organelo celular mitocondria*.

La tercera fuente consultada en esta categoría es el libro para escuela secundaria: *Biología 2* [33], editado por Doce orcas ediciones en 2008. La Figura 16 es un dibujo de una célula animal donde cada estructura tiene una forma y coloración particulares: el citoplasma por ejemplo, se dibuja como un sistema azul uniforme y el citoesqueleto se encuentra únicamente en una parte de la estructura celular, simbolizado con un conjunto de rayas que se entrecruzan entre sí.

fig16

Figura 16: Representación artística de una célula animal en el libro de Bisheimer y otros [33, pág. 44]

En el texto, la imagen se titula: *célula animal* y no se acompaña de un epígrafe, esta imagen es la típica estandarización del *modelo de célula*, está cargada de convenciones de escala, forma y color que en el libro quedan implícitas. El texto presenta afirmaciones ambiguas que no dejan claras las diferencias entre una célula animal y una vegetal, pues al parecer se podría interpretar que la diferencia determinante reside en la presencia de lisosomas o vacuolas.

Las figuras 13, 14, 15 y 16 dan cuenta de las muy frecuentes representaciones artísticas modelizadas presentes en los libros destinados actualmente a la enseñanza [31-36]. Las diferencias se dan, eventualmente en el nivel de detalle de las organelas potencialmente presentes. En general, las explicaciones que se apoyan en dichas imágenes no aclaran el carácter artístico y modelizador de las mismas; incluso, no advierten del tamaño relativo de

otras entidades modelizadas como átomos y moléculas, tal como se refleja en la Figura 15.

Reflexiones finales

La historia de las representaciones sobre el concepto de célula relevada en el presente trabajo muestra que los primeros investigadores tenían intención de mostrar la diversidad de las entidades celulares observadas bajo diferentes metodologías de tinción e instrumentales, como argumento interpretativo para sostener su existencia y funcionalidad.

Incluso a partir de la consolidación teórica de la Teoría Celular (aproximadamente 1840), la enseñanza del concepto de célula continuó mostrando la diversidad morfológica como argumento explicativo durante todo el siglo XIX, mediante la utilización de representaciones artísticas que pretendían emular las observaciones en el microscopio. La evolución del microscopio aparentemente no tuvo una influencia directa sobre estos argumentos, excepto por la incorporación de representaciones de nuevas organelas encontradas.

En el siglo XX, la posibilidad de presentar en los libros imágenes directamente obtenidas de fuentes instrumentales (Figuras 10 y 13) se solapa con la profusa aparición de representaciones artísticas modelizadoras, en las cuales lo esencial no era mostrar la diversidad, sino todos los elementos intracelulares posibles de ser encontrados. Es decir, el análisis transversal de los recursos representacionales para la enseñanza desde el siglo XIX al XXI da cuenta de un inicio que se explayaba en mostrar detalles y especificidades de las minúsculas entidades observadas, a una progresiva tendencia a “empaquetar” las diversidades celulares en afán de llegar a una representación artística modelizada.

Las evidencias que muestran que los jóvenes estudiantes no comprenden el concepto de célula [1-8] y las interpretaciones de los docentes que reducen la dependencia de tal comprensión sólo con imaginar -o no- a la célula como tridimensional, estarían ocultando un profundo problema epistemológico: el de no considerar diferencias entre una “entidad real” (diferentes tipos de células provenientes de tejidos específicos), y una “entidad modelizada”.

En este trabajo se ha realizado un análisis de los argumentos y representaciones gráficas sobre célula a lo largo del tiempo. Los resultados encontrados dan cuenta de una evolución de paradigmas gráficos que acompañaron a dichos argumentos: inicialmente, se utilizaron representaciones artísticas para comunicar mediante dibujos diversidades celulares imaginarias u observadas en microscopios; luego se lograron reproducir imágenes provenientes de fuentes instrumentales (microscopías); ambas etapas centraban su interés en comunicar la diversidad de células reales. Una vez aceptado el concepto científico de célula, los comunicadores volvieron a utilizar representaciones artísticas para reunir en dibujos y esquemas un nuevo concepto: la célula modelizada, que se fue enriqueciendo fuertemente desde la segunda mitad del siglo XX con aportes de investigaciones sobre biología y bioquímica subcelular.

El no discriminar entre representaciones instrumentales y representaciones artísticas podría generar en los estudiantes noveles la idea de que “todo se ve” tal como se representa en el dibujo del texto.

Así mismo, la falta de un marco histórico de la evolución del concepto de célula y sus representaciones afectaría la discriminación (por parte de un estudiante novel) entre los conceptos: “célula modelizada” y “célula real”.

Possiblemente las tensiones epistemológicas presentadas en este trabajo aporten ideas a los docentes para que se puedan superar interpretaciones erróneas que se evidencian en problemas generalizados del aprendizaje del concepto célula.

Referencias:

1. **Palmero MLR** (2000) Revisión bibliográfica relativa a la enseñanza de la Biología y la investigación en el estudio de la célula *Investigações em Ensino de Ciências* 5(3): 237-263.
2. **Dreyfus A, Jungwirth E** (1988) The cell concept of 10th graders: curricular expectations and reality. *International Journal of Science Education* 10(2):221-229 DOI:10.1080/0950069880100210. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0950069880100210>, consultado 03/07/2017.
3. **Caballer MJS, Giménez I** (1992) Las ideas de los alumnos y alumnas acerca de la estructura celular de los seres vivos. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas* 10(2): 172-180.
4. **Flores F, Tovar ME, Gallegos L** (2003) Representation of the cell and its processes in high school students: an integrated view *International Journal of Science Education* 25(2):269-286.DOI: 10.1080/09500690210126793
5. **Mengascini A** (2005) La enseñanza y el aprendizaje de los tejidos vegetales en el ámbito universitario. *Revista electrónica de enseñanza de las ciencias* 4(2): 1-17.
6. **Riemeier T, Gropengießer H** (2008) On the roots of difficulties in learning about cell division: process ?based analysis of students' conceptual development in teaching experiments *International Journal of Science Education* 30(7):923-939,DOI10.1080/09500690701294716. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09500690701294716>, consultado 03/07/2017
7. **Legey AP, Chaves R, de Abreu Mól AC, Spiegel CN, Barbosa JV, Coutinho CM** (2012) Avaliação de saberes sobre célula apresentados por alunos ingressantes em cursos superiores da área biomédica *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* 11(1): 203-224.
8. **Buitrago M.** (2014) Enseñanza-aprendizaje del concepto de célula en estudiantes de básica secundaria. *Tesis de maestría*. Universidad Nacional de Colombia.
9. **Galagovsky L, Ospina N, Merino G.** Participación en el simposio “Los modelos teóricos como una herramienta de comprensión del pensamiento de profesores y alumnos”. X Congreso sobre investigación en Didáctica de las Ciencias, a realizarse del 5 al 8 de septiembre de 2017 en Sevilla, España.
10. <http://www.kokori.cl/>, consultado 01/06/2010.
11. <https://luisamariaarias.wordpress.com/2012/01/05/la-celula/>, consultado 12/06/2017.
12. **Galagovsky L, Di Giacomo MA, Castelo V** (2009) Modelos vs. dibujos: el caso de la enseñanza de las fuerzas intermoleculares *Revista electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 8(1) 1-22. http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen8/ART1_Vol8_N1.pdf, consultado 12/06/2015.
13. **Tyson J** (1870) The cell doctrine. Its history and present state Philadelphia: *Lindsay and Blakiston* .https://books.google.com.ar/books?id=_kYFAQAAIAAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0 consultado 04 /06 /06 /2016.
https://books.google.com.ar/books?id=nmEGHJy9uswC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0 consultado 04 /03 /2017.
14. **Virchow R** (1860) Cellular Pathology. As based upon Physiological and Pathological Histology Londres: John Churchill, New Burlington Street
15. **Magendie F** (1828) *Compendio elemental de Fisiología. Tomo I.* Barcelona: Antonio Brusi. <https://books.google.com.ar/books?id=SclodMZ0rYwC&pg=PA1&dq=Compendio+elemental+de+Fisiolog%C3%ADA&hl=es&sa=X&qid=1464400000000&cd=1&cad=rja> consultado 04/07/2016.
16. **Heusinger C** (1822) *System der Histologie Eisenach:* Editorial Jolmann Bärecke. <https://books.google.com.ar/books?id=5lpCAAAAcAAJ&printsec=frontcover&dq=System+der+Histologie&hl=es&sa=X&qid=1464400000000&cd=1&cad=rja> consultado 04/07/2016.
17. **Schwann T** (1847) Microscopically researches into the accordance in the structure and growth of animals and plants Londres: The Sydenham Society. https://books.google.com.ar/books?id=m9kHAAAAIAAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0 consultado 04/07/2016.

18. **Schleiden M** (1849) Scientific Botany or Botany as an Inductive Science Londres: *Longman, Brown, Green and Longmans.*
https://books.google.com.ar/books?id=JAEYsEgsf84C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0# consultado 04/07/2016.
19. **Ford BJ** (2002) El nacimiento del microscopio. *ContactoS* 45: 29-38.
20. **Coleman W** (1983) La biología en el siglo XIX: problemas de forma, función y transformación Ciudad de México: *Fondo de Cultura Económica.*
21. **Hooke R** (1667) Micrographia. Or some physiological descriptions of minute bodies made by magnifying glasses Londres: Royal Society.
https://play.google.com/books/reader?id=ISP_gRwuz94C&printsec=frontcover&output=reader&hl=es&pg=GBS.PP2, consultado 11/07/2016.
22. **Galagovsky L** (2008) ¿Se puede hacer "ciencia" en la escuela? En Galagovsky, L (Coordinadora). ¿Qué tienen de "naturales" las ciencias naturales? (pp. 85-100). Buenos Aires: Editorial Biblos.
23. **Cárcova C** (2010) La deriva de la verdad. En Galagovsky, L (Coordinadora). Didáctica de las Ciencias Naturales. *El caso de los modelos científicos* Buenos Aires: Lugar Editorial.
24. **Sjöstrand, F** (1956). International Review of Cytology. Volume 5, Nueva York: Editado por: G.H. Bourne and J.F. Danielli. <http://www.sciencedirect.com/science/journal/00747696/5>, consultado 29/03/2017.
25. **Ruska E** (1987) The development of the electron microscope and of electron microscopy *Reviews of modern physics* 59(3): 627-638.
26. **Kölliker RA** (1854) Manual of Human Microscopical Anatomy Filadelfia: J. DA COSTA.
<https://books.google.com.ar/books?id=L88HAAAAIAAJ&printsec=frontcover&dq=Manual+of+Human+Microscopic+Anatom> consultado 29/03/2017.
- 27 **Nicholson H** (1872) Introduction to the study of Biology Londres, I: William Blackwood and Sons.
<https://books.google.com.ar/books?id=aNnXD81HkO0C&printsec=frontcover&dq=Introduction+to+the+study+of+Biology> 29/03/2017.
28. **Sinnott E**, (1935) Botany. Principles and problems Londres: Mc Graw –Hill.
29. **Fox H** (1942) Biology. An introduction to the Study of Life Cambridge: Universidad de Cambridge.
30. **Oprescu S.** (1971) Introducere în citogenetică animal Bucarest: *Stiintific?*.
31. **De Robertis E, De Robertis E** (1988) Fundamentos de Biología Celular y Molecular (nivel universitario) Buenos Aires: El Ateneo.
32. **Barderi MG; Cuniglio F; Fernández E, Haut G; López A; Lotersztain I. Shipani F** (1998) Biología. Citología, anatomía y fisiología. Sexto polimodal Buenos Aires: Santillana.
33. **Bisheimer V; Capurro A; Cuniglio F; Ferretti V; Olivares A; Saullo S, Soave G.** (2008). Biología 2 año secundaria Buenos Aires: Doce once Ediciones.
34. **Lodish H; Berk A; Kaiser C; Krieger M; Bretscher A; Ploegh H; Amon A; Scott M** (2005) Biología Celular y Molecular Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana.
35. **Pezo P; Flores S; González F; Velásquez E; Sánchez M; Cisterna D; Bravo M** (2007) Biología I. Santiago de Chile: Santillana.
36. **Curtis H, Barnes NS** (1994) Biología, quinta edición. Buenos Aires: Panamericana.

QuímicaViva

ISSN 1666-7948

www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar

Revista QuímicaViva

Volumen 16, Número 2, Agosto de 2017

ID artículo:E0071

DOI: no disponible

Versión online