

Los modelos explicativos del estudiantado acerca de la célula eucarionte animal

Johanna Patricia Camacho González¹, Natalia Jara Colicoy², Cristina Morales Orellana², Nicole Rubio García², Tatiana Muñoz Guerrero², Gonzalo Rodríguez Tirado²

¹Departamento de Estudios Pedagógicos, Universidad de Chile, Santiago, Chile. jpcamacho@uchile.cl

²Pedagogía en Biología y Ciencias Naturales, Universidad Central, Santiago, Chile.

[Recibido en Julio de 2011, aceptado en febrero de 2012]

El principal objetivo de esta investigación fue analizar los modelos explicativos del estudiantado de 8vo básico, acerca de la estructura de la célula eucarionte animal, antes y después de una intervención didáctica, fundamentada desde el Modelo Cognitivo de Ciencia (Giere, 1992) y estructurada según el Ciclo Constructivista de Aprendizaje (Sanmartí, 2000). La investigación se desarrolló en dos fases: a. En la fase descriptiva interpretativa, se categorizaron los modelos explicativos identificados en 18 familias de modelos y b. En la fase pre-experimental, se identificó si existían diferencias significativas entre dichos modelos antes y después de la intervención didáctica a través, de las técnicas estadísticas de Wilcoxon y ANOVA de aleatoriedad de datos. Los principales hallazgos evidenciaron que la intervención didáctica favorece la construcción de modelos explicativos dinámicos y flexibles, que se caracterizan por poseer un lenguaje más especializado, establecer nuevas relaciones entre los organelos y funciones celulares, así como la capacidad de incorporar nuevos elementos para enriquecer el modelo de célula escolar, demostrando así que estos modelos se transforman progresivamente (Rodríguez y Moreira, 1999; Justí, 2006).

Palabras clave: Modelo Cognitivo de Ciencia; Modelos explicativos; célula eucarionte animal; Historia de la ciencia; Educación secundaria.

The Explanatory Models about the eukaryotic cell by secondary school students

The main objective of this study was to examine the explanatory models of secondary school students, about the structure of the animal eukaryotic cells before and after an didactic intervention, based from the cognitive model of science (Giere, 1992) and the constructivist learning cycle (Sanmartí, 2000). The research took place in two stages: a. Descriptive and interpretative stage, we categorized the explanatory models identified in 18 families of models and b. The pre-experimental stage, it identifies whether there were significant differences between the models before and after the educational intervention by Wilcoxon test and data randomization, ANOVA. The main findings showed that didactic intervention encourages the building of explanatory models, which are characterized by more specialized language, new relationships between the organelles and cellular functions and the ability to incorporate new elements to enrich the school cell model, demonstrating that these models evolve progressively (Rodríguez and Moreira, 1999; Justí, 2006).

Keywords: Cognitive Model of Science; Explanatory Models; animal eucarionte cell; History of Science; Secondary school.

Introducción

La idea de la *explicación científica* ha sido una preocupación teórica importante para la construcción de conocimiento científico (Giere, 1992), que ha llamado la atención en los últimos años en la modelización científica escolar (Izquierdo y Adúriz- Bravo, 2003). Sanmartí e Izquierdo (1998:184) han señalado que la explicación se considera fundamental en la enseñanza de las ciencias porque “*lo que interesa es la comprensión el establecimiento de relaciones, la negociación de significado en el aula*”. Es decir, que explicar algo demuestra comprensión, por lo que es importante según Welsh (2002) hacer hincapié en cómo es su estructura durante los procesos escolares, en vista que las disciplinas científicas se han construido a través de explicaciones científicas, que por lo general ayudan a las/los estudiantes a comprender mejor lo que aprenden.

En investigaciones específicas de la Didáctica de la Biología, como por ejemplo las llevadas a cabo por Rodríguez y Moreira (1999, 2002) y Rodríguez, Marrero y Moreira (2001), se concluye que tradicionalmente los modelos mentales de célula, son limitados y sólo corresponden a algunos aspectos de la Teoría Celular. Por lo que aún, se hace necesario investigaciones que indaguen sobre cómo son los modelos estudiantiles y si es posible que a través de procesos de intervención didáctica, estos se modifiquen progresivamente.

Desde esta perspectiva, la investigación propuesta busca analizar cómo son los modelos explicativos acerca de la célula eucarionte animal de las/los estudiantes que construyen o reconstruyen durante la actividad científica escolar (Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2003). Para tal fin, se decidió desarrollar una Unidad Didáctica fundamentada desde el Modelo Cognitivo de Ciencia (Giere, 1992) y estructurada según el Ciclo Constructivista de Aprendizaje (Sanmartí, 2000), a través de la cual se incorporó nueva información, de tal manera de enriquecer los modelos explicativos estudiantiles, según lo propone Justí (2006) y Rodríguez y Moreira (1999).

La investigación se realizó con estudiantes de 8to básico (entre 13 y 14 años), a través de la temática célula eucarionte animal, la cual según el MINEDUC¹ (2009) es un concepto obligatorio y central, que se desarrolla a través currículo escolar chileno.

La modelización científica

En relación a la epistemología de las ciencias, podemos señalar que el Modelo Cognitivo permite dar cuenta sobre cómo los científicos interpretan el mundo, toman decisiones metodológicas y construyen teorías para intervenir el mundo natural. Así, este proceso consiste en una modelización científica (Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2003) en donde se *“elaboran representaciones mentales más o menos ajustadas para explicar cómo puede funcionar algún aspecto de la realidad y cómo se puede intervenir”* (Bahamonde, 2006:23), las cuales permiten interactuar e intervenir en el mundo. Desde esta perspectiva, dichas representaciones mentales construyen los denominados *modelos teóricos*, o para los expertos las teorías científicas, que se caracterizan por reflejar algunos aspectos de la realidad a través de diferentes relaciones y principalmente, por la presencia de un lenguaje específico, propio de la disciplina científica. Sin embargo, no sólo las personas que se dedican a la actividad científica son quienes crean representaciones mentales de estas características, sino que además, este es un proceso propio de cualquier persona que desee saber cómo funciona el mundo y cómo puede intervenir en él. Así, los modelos teóricos que se construyen, dependen del mayor o menor carácter explicativo o predictivo que tengan, las relaciones de similitud con el modelo real y el uso de un lenguaje científico apropiado.

Es decir, que el proceso de modelización, se constituye en un proceso interesante e importante para la construcción de conocimiento científico y científico escolar, de forma tal que va dando cuenta de manera progresiva sobre cómo estos modelos se construyen y a la vez van conformando una familia que funciona como una teoría científica, según Giere (1992). Por lo tanto, los modelos son factibles de agrupar en familias manteniendo relaciones de semejanza, más no relaciones lógicas, ya que en algunos casos la diferencia entre dos modelos, es que uno es la aproximación de otro, existiendo cercanía, interacción y vínculos entre las familias de modelos. Según Giere (1992), la construcción de una familia de modelos para explicar algún fenómeno, puede utilizar o agrupar una serie de modelos, o bien una familia de modelos ya construida, puede agruparse con otras y de este modo conformar una nueva familia de modelos, que permita representar algún fenómeno de la realidad.

¹ MINEDUC: Ministerio de Educación Nacional de Chile

En la actividad científica escolar, el proceso de modelización se convierte en un aspecto relevante que permite comprender, cómo las ideas previas de las/los estudiantes se modifican, reconstruyen y finalmente, se hacen explícitos. Por ende, se hacen necesarias propuestas que busquen analizar, identificar y caracterizar dichos modelos, entendidos como “*herramientas de representación teórica del mundo, auxiliares para explicarlo, predecirlo y transformarlo*” (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001:233), ya que estos podrían ser la clave para comprender el uso de distintos razonamientos y concepciones alternativas, en determinadas situaciones de la naturaleza.

Como señalan Alurralde y Salinas (2007), el estudiantado al construir sus modelos selecciona ciertos elementos e ignora otros, con la intencionalidad de explicar relaciones acerca de un fenómeno determinado, de esta manera se promueve que la participación activa en su proceso de aprendizaje y en la construcción de un nuevo conocimiento basado en la elaboración de modelos. Este proceso de modelización científica, permite que la actividad científica escolar promueva la construcción y utilización del conocimiento científico, para generar nuevas explicaciones y predicciones que les permitan intervenir y transformar el mundo en el que viven (Izquierdo y Adúriz – Bravo, 2003).

La célula en la actividad científica escolar

La célula se ha caracterizado como una de las temáticas obligatorias dentro del currículo escolar (MINEDUC, 2009) y un componente fundamental para la comprensión de la organización biológica según Cohen y Yarden (2010); Rodríguez y Moreira (1999, 2002) y Soares (2008). Tradicionalmente, su enseñanza se ha basado en los libros de texto (Caballer y Giménez, 1993; Mengascini, 2006, Cohen y Yarden, 2010), lo cual evidencia una visión antropocéntrica en la enseñanza y algunos obstáculos en el aprendizaje, principalmente relacionados con la imagen funcional y estructural de la representación de la célula a través de procesos abstractos y complejos (Flores et al., 2000).

Según la revisión bibliográfica de Rodríguez (1997) y Verhoeff et al. (2008), se identifica que las dificultades entorno a la célula, están relacionadas con la apreciación de las dimensiones de la célula y sus estructuras; ideas alejadas de la composición de la célula y de su contenido; el desconocimiento o baja comprensión del nivel celular; los procesos vitales de nutrición y respiración, en donde generalmente se confunde la respiración celular y fotosíntesis o no se relaciona con procesos energéticos y finalmente, aspectos que tienen que ver con el crecimiento, reproducción y herencia de los procesos celulares. En las investigaciones de Mengascini (2006) y Cohen y Yarden (2010) además, se señala la alta frecuencia de las/los estudiantes en asociar los tipos de célula, sólo desde un punto de vista funcional y no estructural; la alta recurrencia en asociar la estructura de la célula, más con el núcleo que con el citoplasma, dejando de lado las células procariotas y también, la confusión entre la estructura y función de los organelos celulares.

Otro aspecto, señalado en las investigaciones de Rodríguez (2003) y Verhoeff et al. (2008), esta relacionado con las representaciones icónicas de célula del estudiantado, el cual al parecer están altamente influenciadas por las imágenes de los libros de texto, que se caracterizan por ser redondeadas, poseer núcleo, organelos específicamente representadas y poco integradas unas con otras, reflejando lo que algunos autores han denominado representación de “huevo frito”, una estructura basada en anillos concéntricos (Díaz y Jiménez, 2003). Esta limitada representación, ha llevado a nuevas propuestas de enseñanza basadas en el uso de animaciones tridimensionales (O’Day, 2006), de tal manera de ayudar a los estudiantes a comprender la integración y dinámica de los procesos celulares.

A partir de los antecedentes mencionados anteriormente, se puede señalar que los modelos explicativos que genera el estudiantado no se ajustan, en algunos casos, al modelo de Teoría Celular. Es decir, que corresponden a modelos simplificados e incompletos, según la tipificación de Barquero (1995, citado en Rodríguez y Moreira, 1999), lo que supone una reducción de la información en los aspectos más relevantes de la situación referida.

En este sentido, consideramos que incorporar información relevante en los procesos de enseñanza - aprendizaje, pueden contribuir favorablemente hacia la transformación progresiva de los modelos del estudiantado, según lo propuesto por Rodríguez y Moreira (1999) y Justí (2006). De esta manera, se esperaría que el modelo explicativo del estudiantado de 8vo básico, no sólo considere la célula como la unidad básica estructural y funcional del organismo, sino que además explique las estructuras principales (membrana plasmática, citoplasma y núcleo), la estructura general de la célula eucarionte animal; establezca relaciones entre el medio interno - externo de la célula con el intercambio de sustancias; reconozca la estructura y función de las organelas celulares y, señale la función hereditaria como portadora de la información genética. Es decir, que explique los conceptos básicos, relacionados con la Teoría Celular.

Metodología

La investigación se realizó en un colegio particular subvencionado de la comuna de Maipú, Santiago de Chile. Participaron 36 estudiantes de 8vo año básico, entre 13-14 años. La propuesta metodológica, se desarrolló a través de una Unidad Didáctica cuyo objetivo fue promover la explicación científica, acerca de la estructura de la célula eucarionte animal. El diseño de la unidad se fundamentó desde el Modelo Cognitivo de Ciencia (Giere, 1992), las actividades se estructuraron según el Ciclo Constructivista de Aprendizaje (Sanmartí, 2000) y se validaron a través del juicio de expertos, en la que participaron 3 investigadoras del campo de la Didáctica de las Ciencias Naturales y 1 investigador en el área disciplinar de Biología.

La recolección de los datos, se realizó durante dos momentos de la Unidad Didáctica, exploración y aplicación. Se consideraron estos momentos, dado a que la participación del estudiantado era individual y las actividades estaban orientadas hacia la elaboración de un dibujo y un texto explicativo para una situación dada, de tal manera de poder identificar su modelo explicativo.

La elaboración de imágenes de la célula han sido objeto de estudio de diferentes investigaciones y generalmente, estas representaciones suelen asociarse o estar influenciadas por las representaciones de los libros de texto, caracterizándose por imágenes idealizadas de la célula, *“la propia forma de representar en los dibujos que hacemos es una idealización con respecto a lo que es cada orgánulo y estructura que difícilmente se van a “ver” en la realidad tal y como los expresamos”*, según señala Rodríguez (2003:230). En esta investigación la elaboración de dibujos, jugó un papel importante, ya que permitió que la/el estudiante representara la estructura (principal y general) de la célula y el medio interno-externo. Del mismo modo, la explicación que cada estudiante daba de su dibujo, como una actividad de escritura según Hohenshell y Hand (2006) promueve un cambio conceptual, en tanto que ofrece oportunidades para que el estudiantado reflexione sobre el contenido de manera de alcanzar un significado personal y también, estimule el desarrollo de habilidades de procesamiento, tales como organizar las ideas y el razonamiento. Estas actividades permitieron recolectar datos, de naturaleza icónica y textual, como se muestra en la Figura 1 y a partir de esto, identificar y caracterizar cómo eran los modelos explicativos de la célula eucarionte animal.

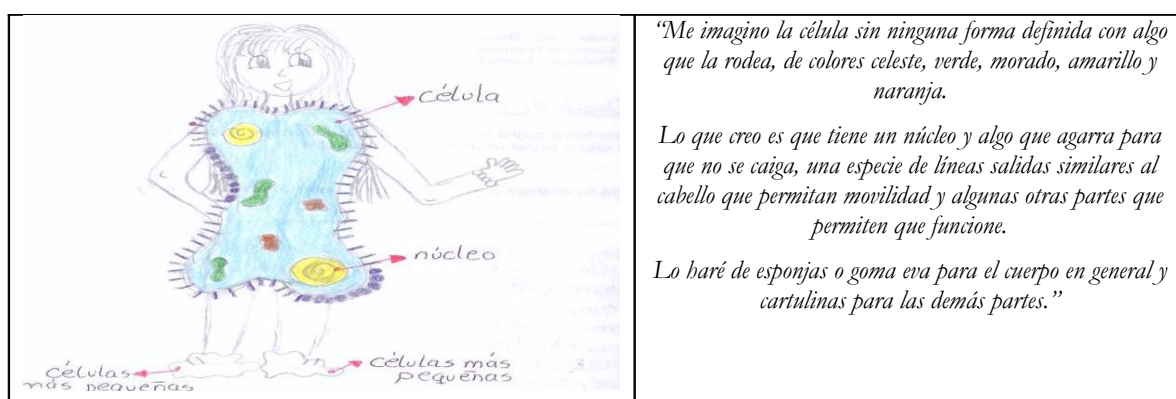


Figura 1. Dibujo y texto estudiantil ¿Cómo sería tu disfraz considerando las estructuras celulares?

A continuación se describe cada actividad de la unidad didáctica y se hace particular énfasis, en los momentos de recolección de datos.

- a. Actividad de exploración. Tuvo como objetivo identificar los modelos previos del estudiantado, es decir que explicitarán de manera individual sus representaciones iniciales acerca de la estructura de la célula eucarionte animal. Para ello, se propuso la siguiente *situación científica escolar problematizadora* (SCEP) (Camacho y Quintanilla, 2008):

“Te invitan a una fiesta de disfraces donde el tema central es Nuestro Cuerpo, por sorteo tu disfraz debe ser el de una célula, mientras que tu compañera de puesto debe disfrazarse de Corazón, en el disfraz de ella se pueden reconocer estructuras como: Aurícula, ventrículo, vena pulmonar, etc”.

A partir de esta situación, el estudiantado diseñaba un dibujo y lo explicaba mediante un texto escrito, haciendo énfasis en *¿Qué estructuras celulares considerarías para la elaboración de tu disfraz? ¿Cómo sería tu disfraz considerando las estructuras celulares?* Dichas textualidades fueron objeto de análisis descriptivo e interpretativo (Sandín, 2003).

- b. Actividad para promover la evolución de los modelos iniciales. En este momento de la secuencia, se trabajaron algunos aspectos de la evolución de la Teoría Celular desde la Historia de la Ciencia y luego, se propuso una actividad, para establecer relaciones analógicas entre un globo y la célula eucarionte animal ([Anexo 1](#)). Esta actividad tenía como principal objetivo que las/los estudiantes incorporarán nuevos puntos de vista a los ya conocidos, es decir nuevas variables de identificación, otras formas de observar y de explicar, formular problemas e hipótesis.
- c. Actividades de síntesis, también denominadas actividades de elaboración de conclusiones o de estructuración del conocimiento. El propósito fue que el estudiantado explicitará lo que estaba aprendiendo y reflexionará sobre cómo lo había hecho, a fin de elaborar conclusiones. La actividad ([Anexo 2](#)), consistió en la elaboración de una maqueta de la célula eucarionte animal, en principio se propusieron algunas preguntas para anticipar el diseño, una vez se consensuó el plan de trabajo, se procedió a la elaboración de la maqueta en grupos de 3 personas y finalmente, escribieron una carta explicando la estructura de la célula eucarionte animal, para enviarla a un grupo de estudiantes de otra región.
- d. Actividad de aplicación y transferencia a otros contextos. Esta última actividad estuvo orientada a que las/los estudiantes transfirieran los conocimientos construidos a una nueva situación (SCEP) diferente y más compleja que la inicial. La situación propuesta fue la siguiente:

“Estás en un día de campo, compartiendo con amigos, luego del almuerzo al despertar de una breve siesta te das cuenta que tienes una mancha rojiza en la palma de tu mano derecha, sientes ardor y un

pequeño hormigueo. No le prestas importancia y sigues con tus actividades. A los tres días te das cuenta que tienes tu mano está inflamada y de coloración oscura”.

A partir de este caso, se le propone al estudiantado que realice un dibujo de la mano antes y después de los 3 días del día de campo y que explique ¿Qué ha ocurrido? específicamente con respecto a los daños que provocan a nivel celular y de estructuras en este proceso. De igual forma que en la etapa de exploración, las textualidades de cada estudiante fueron objeto de análisis descriptivo e interpretativo (Sandín, 2003).

El plan de análisis se realizó durante dos fases. La primera consistió en un análisis descriptivo e interpretativo de los modelos, que surgieron de cada uno de las/los estudiantes, a través de los dibujos y textualidades elaboradas en los dos momentos de recolección de datos. El análisis fue apoyado por una rúbrica de evaluación, que se elaboró y validó a través del juicio de expertos (Anexo 3). En este instrumento, se asignaba como puntaje máximo 4 a cada uno de los siguientes aspectos: estructuras principales, estructura general de la célula eucarionte y relaciones con respecto al medio interno-externo de la célula.

A partir de los modelos identificados individualmente, se construyeron familias de modelos (Giere, 1992), estableciendo relaciones de semejanza o cercanía entre unos y otros. Cada modelo y familia, se definió en analogía con los modelos sobre célula que han surgido desde la Historia de la Teoría Celular (Carrillo et al., 2011; Alzogaray, 2006; Vial, 1999). Esta propuesta de análisis, se argumenta por la aparente relación entre las dificultades conceptuales estudiantiles, con la propia construcción de la noción teórica de célula eucarionte animal (Clément, 2007), la cual conlleva a procesos muy abstractos, al estar involucradas diferentes áreas de investigación (microscopía electrónica, bioquímica), según Caballer y Giménez (1993) y complejos, en tanto que los conceptos involucrados, se han definido de diferentes maneras durante la Historia de la Biología (Alzogaray, 2006).

La segunda fase, tuvo como objetivo identificar si existían diferencias significativas entre dichos modelos, a través de los puntajes asignados en las estructuras generales, principales, el medio interno-externo y el puntaje total, antes y después de la intervención con la unidad didáctica. Para esto, se realizó un análisis pre-experimental a través de la prueba no paramétrica Wilcoxon y ANOVA con aleatoriedad de datos (Guisante, 2006), mediante los programas estadísticos SPSS 15 y Rndom.

Resultados de la fase descriptiva e interpretativa

A continuación se discuten los resultados en cada uno de los momentos de recolección de datos:

a. Etapa de Exploración

Durante la exploración fue posible identificar 7 modelos explicativos acerca de la célula eucarionte animal (Tabla 1). El 75.7% del estudiantado, representaba su modelo (A) de célula eucarionte animal, sin definir las estructuras principales, estructura general y el medio interno-externo de la célula. En algunos casos, las/los estudiantes sólo describieron un aspecto, el 8.1% sólo hizo alusión a la estructura general de la célula (modelo B); el 2.7%, al medio interno –externo (modelo C) y el 5.4% a las estructuras principales (modelo F). Un estudiante (2.7%) explicó las estructuras principales, pero no reconoció las estructuras principales, ni el medio interno y externo (modelo D). Otro estudiante (2.7%), describió las estructuras de la célula, tanto principales como general y no señaló el medio interno, ni externo (modelo E). Sólo un estudiante (2.7%), reconoció y describió la estructura general, principal y medio interno-externo de la célula (modelo G).

Etapa de Exploración						
Modelo	N	%	Combinación de puntajes			
			Estructuras principales	Estructura general de la célula	Medio interno y externo	Puntaje Total
A	27	75,68%	1	1	1	3
B	3	8,2%	1	2	1	4
C	1	2,7%	1	1	2	4
D	1	2,7%	3	1	1	5
E	1	2,7%	2	2	1	5
F	2	5,4%	2	1	1	4
G	1	2,7%	2	2	2	6
TOTAL	36	100	12	10	9	31

Tabla 1. Combinación de puntaje de las respuestas del estudiantado en la Etapa de Exploración.

Según las relaciones de semejanza que se evidenciaron en algunos modelos, se dispuso a realizar una categorización por familias de modelos según la propuesta de Giere (1992), relacionando cada familia con algunas características de los modelos científicos desarrollados a través de la Historia de la Teoría Celular. Así, se conformaron 2 familias de modelos (Heinrich y Brown); el modelo A, se relacionó con la propuesta teórica de Hooke y el modelo D, con la de Trevinarus, como se muestra en la Figura 2.

La caracterización de cada modelo y familia de modelos, se describe a continuación:

- Modelo A (Hooke): Este modelo es el más simple históricamente, se considera la célula como una celda, que carece de estructuras, pero que esta limitada con el exterior. Este modelo fue el más característico en los estudiantes (75.7%).

“Yo creo que la célula tiene forma de moco, con bacterias. Su color es verde con rojo, los puntos que tiene son bacterias.” (Explicación estudiantil, durante la etapa de explicación).

- Modelo D (Trevinarus): Este modelo lo presentó sólo un estudiante (2.7%) quien reconoció y describió las estructuras principales (Membrana plasmática, Citoplasma y Núcleo) de la célula eucarionte animal, pero no mencionó la estructura general, ni la existencia del medio interno y externo de la célula.

“Me imagino la célula sin ninguna forma definida con algo que la rodea, de colores celeste, verde, morado, amarillo y naranja. Lo que creo es que tiene un núcleo y algo que agarra para que no se caiga, una especie de líneas salidas similares al cabello que permitan movilidad y algunas otras partes que permiten que funcione. Lo haré de esponjas o goma eva para el cuerpo en general y cartulinas para las demás partes.” (Explicación estudiantil, durante la etapa de explicación).

- Familia Heinrich (Modelos B y C): En esta familia de modelos, se mencionan aspectos que aluden a que la célula no es hueca, es decir, se reconoce la estructura general de la célula eucarionte animal y hace referencia en las explicaciones a la existencia del medio interno y externo de la célula, en relación al intercambio de sustancias, a pesar de no explicar las estructuras principales. El 10.8% del estudiantado presentó este modelo.

“Esta célula es muy viscosa, es muy pequeña, tiene olor a pino. También tiene algunos huevos en su interior, va a ser de un material áspero, va a tener un color claro y oscuro. Tiene unas espigas que las usa como método de defensa. La línea roja que lo rodea sirve para moverse más rápido.” (Explicación estudiantil, durante la etapa de explicación).

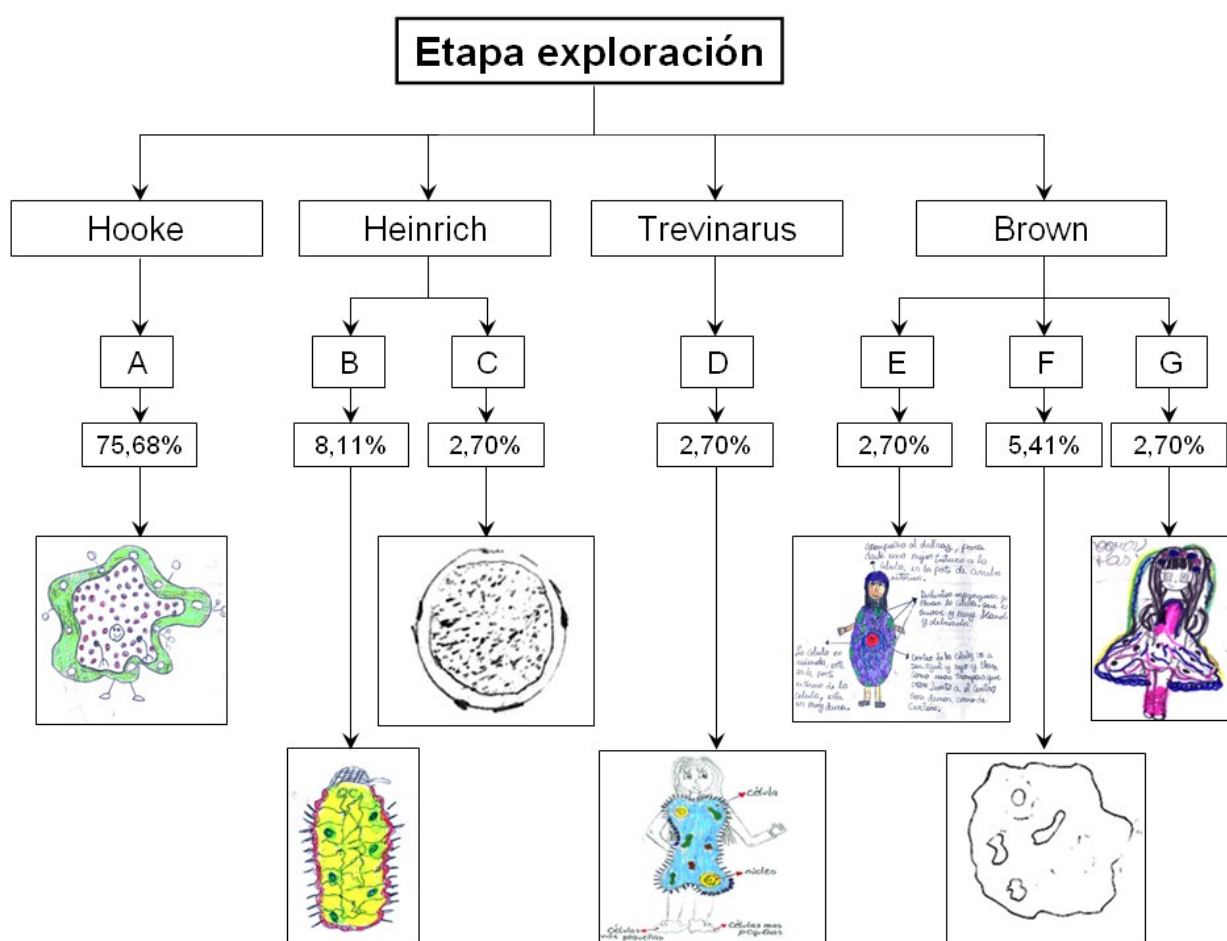


Figura 2. Modelos y familia de modelos del estudiantado en la etapa de Exploración.

- Familia Brown (Modelos E, F y G): En esta familia de modelos las/los estudiantes describieron el núcleo como estructura principal de la célula. Además, reconocieron la estructura general de la célula eucariote animal, sin mencionar la existencia del medio interno y externo. El 10.8% del estudiantado, hizo parte de esta familia.

“Mi disfraz de célula tendrá distintos organismos en su interior. Esta será suave, blanda y delicada, tendrá una especie de muralla o red que detendrá a los organismos que están dentro. Será de color azul y rojo, llevará un círculo dentro el núcleo que va junto al centro. La célula es redonda, esta es la parte externa de la célula” (Explicación estudiantil, durante la etapa de explicación).

b. Actividad de Aplicación

En la actividad de aplicación se identificaron 15 modelos, 11 nuevos y 4 que ya se habían identificado en la actividad de exploración (Tabla 2).

El 30% del estudiantado reconoció y describió la estructura general, principal y medio interno-externo de la célula (modelo G). Este resultado es importante, porque en la exploración sólo un estudiante había presentado este modelo, lo que señala progresión en los modelos iniciales. Sin embargo, un estudiante (2.8%) evidenció aún el modelo A, que no reconoce las estructuras principales, generales y medio interno-externo de la célula y, el 5.5% sólo hizo alusión a la estructura general de la célula (modelo B).

Etapa de Aplicación						
Modelo	N	%	Combinación de puntajes			
			Estructuras principales	Estructura general de la célula	Medio interno y externo	Puntaje Total
A	1	2.8%	1	1	1	3
B	2	5.5%	1	2	1	4
E	8	22.2%	2	2	1	5
G	11	30.5%	2	2	2	6
H	1	2.8%	3	3	2	8
I	1	2.8%	2	1	4	7
J	2	5.5%	3	2	1	6
K	1	2.8%	2	3	2	7
L	2	5.5%	2	1	2	5
M	2	5.5%	3	3	1	7
N	1	2.8%	3	2	2	7
O	1	2.8%	3	3	3	9
P	1	2.8%	4	2	2	8
Q	1	2.8%	4	4	1	9
R	1	2.8%	1	2	2	5
TOTAL	36	100	38	35	29	102

Tabla 2. Combinación de puntaje de las respuestas del estudiantado en la Etapa de Exploración.

También, es importante, señalar que el 22.2% del estudiantado no hizo alusión del medio interno-externo de la célula, por lo que se considera que este aspecto es uno de los que tiene mayor dificultad para el estudiantado. En diferentes modelos se evidencia esta dificultad, sí bien se reconocen y describen las estructuras general y principales de la célula (modelo E) o se relacionan y/o describen o explican las estructuras de la célula, como en los modelos H (2.8%), M (5.5%), J (5.5%) y Q (2.8%) respectivamente, las relaciones entre medio interno-externo de la célula, no son evidentes. No obstante, llama la atención el modelo I de un estudiante (2.8%), en donde se explica la relación entre medio interno-externo de la célula, pero sólo reconoce la estructura general de la célula y no considera la estructuras principales.

Los nuevos modelos que surgen en la actividad de aplicación, son característicos generalmente de un solo estudiante. Por ejemplo, el modelo K (2.8%), relaciona la estructura general y el medio interno-externo de la célula y además, describe las estructuras principales de la célula. Los modelos N (2.8%), O (2.8%) y P (2.8%), que también son individuales, relacionan y/o describen todos los aspectos, a diferencia del modelo R (2.8%), que sólo relaciona la estructura general y el medio interno-externo de la célula. Por otro lado, el modelo L (5.5%), que es de dos estudiantes, se caracteriza por describir las estructuras principales y el medio interno – externo celular.

También, se identificó que el modelo explicativo en la etapa de aplicación, de la mayoría del estudiantado (52.7%), estuvo relacionado con la descripción de las estructuras celulares, sin mencionar el medio interno-externo de la célula, es decir, características más relacionadas con los modelos E y G que constituyen la familia de Brown. Durante la etapa de exploración, sólo en el 10.8% de las/los estudiantes se habían identificado dichos modelos.

Varios modelos emergentes, evidenciaban relaciones de similitud entre sí. Debido a esto, fueron agrupados en familia de modelos constituyéndose 3 nuevas familias (Hooke-Raspail, Dujardi y Shleiden-Schwann) y el nuevo modelo R (Dujardi – Heinirich), como se muestran en la Figura 3.

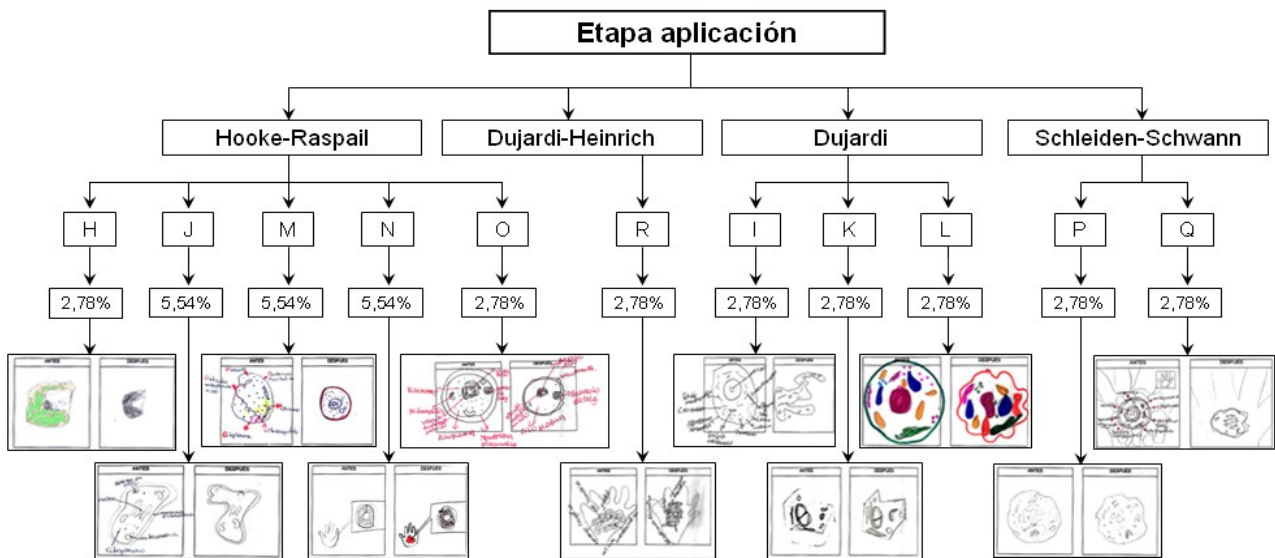


Figura 3. Diagrama de las nuevas familias de modelo, de los estudiantes después de la aplicación de la Unidad Didáctica.

El modelo R y las nuevas familias de modelos explicativos, en la etapa de aplicación se caracterizaron por:

- ✓ Modelo R (Dujardi – Heinrich): En este modelo un estudiante (2.7%), señala la existencia de un medio interno-externo de la célula relacionado con el intercambio de sustancias. Además, describen la estructura general de la célula y no explica las estructuras principales (Membrana plasmática, Citoplasma y Núcleo).

“Después la célula se deforma, se le salieron todas sus partes hacia afuera, sale un olor raro y un líquido negro con morado. Lo de afuera queda en puntas, se infló hasta explotar, luego se evaporó, el lo del medio se achico y se puso rojo.” (Explicación estudiantil, durante la etapa de aplicación)

- ✓ Familia Hooke – Raspail (Modelos H, J, M, N y O): En esta familia los modelos estudiantiles, hacen alusión a una célula sin estructura general y mencionan aspectos que permiten relacionar que la célula toma por aspiración líquido del ambiente, para su elaboración. En algunos casos mencionan alguna de las estructuras principales (Membrana plasmática, Citoplasma o Núcleo). El 22.1% del estudiantado hizo parte de esta familia.

“La célula se encuentra igual solo que le han entrado bacterias a través de la membrana y las bacterias están comiéndose todo lo que tiene en su interior. Mientras que el núcleo se infecta y se revienta”. (Explicación estudiantil, durante la etapa de aplicación)

- ✓ Familia Dujardi (Modelos I, K y L): Esta familia de modelos se caracteriza en que el 8.4%, del estudiantado reconoce y describe las estructuras principales (Membrana plasmática, Citoplasma y Núcleo), la estructura general de la célula eucarionte animal y reconocen la existencia de un material gelatinoso, insoluble en agua, en relación con el medio interno y externo de la célula.

“La célula queda deformada, producto de un golpe, el citoplasma y todo lo que esta dentro de la célula se escapa esparciéndose. El núcleo queda en el centro” (Explicación estudiantil, durante la etapa de aplicación).

- ✓ Familia Schleiden – Schwann (Modelos P y Q): En esta familia el 5.6% de las/los estudiantes explican las estructuras principales (Membrana plasmática, Citoplasma y

Núcleo), describen la estructura general de la célula eucarionte animal y la existencia del medio interno - externo de la célula, en relación al intercambio de sustancias.

“La membrana plasmática fue la más afectada ya que es la que cubre todo lo de la célula y esa recibió parte de la picañón. Se taparan los poros, el peroxisoma se destruye por completo. La mitocondria perdió toda su energía. El núcleo fue el menos dañado ya que todos los organelos están alrededor de el. El aparato de Golgi dejó de distribuir las proteínas ya que se dañó. El citoesqueleto se desfiguro dándole una forma no apropiada. El retículo perdió lípidos.” (Explicación estudiantil, durante la etapa de aplicación).

Resultados de la fase pre-experimental

Según los resultados de la prueba estadística de Wilcoxon (Tabla 3), se encontró que existían diferencias significativas ($Z = -5,213$, $gl = 35$, $P > 0,001$) en la mediana de los puntajes obtenidos por el estudiantado en la etapa de exploración, en contraste con el promedio de los puntajes en la etapa de aplicación.

Actividad	N	Media	Mediana	Moda	Desviación Estándar	Diferencias significativas
Exploración	36	3.36	3	3	0.72	0,001
Aplicación	36	5.97	6	6	1.29	0,001

Tabla 3. Resultados de la prueba Wilcoxon.

Posteriormente, se aplicó la prueba de ANOVA con aleatoriedad de datos, presentando los siguientes resultados en cada aspecto analizado:

- ✓ Estructuras principales de la célula eucarionte animal en la etapa de exploración y aplicación presenta diferencias significativas ($F = 58.72$, $gl = 71$, $P = 0.0001$).
- ✓ Estructura General de la célula eucarionte animal en la etapa de exploración y aplicación presenta diferencias significativas ($F = 79,48$, $gl = 71$, $P = 0.0001$).
- ✓ Medio interno y externo celular en la etapa de exploración y aplicación presenta diferencias significativas ($F = 29,27$, $gl = 71$, $P = 0.0001$).

Esto permitió evidenciar, que la intervención didáctica mejoró significativamente los modelos explicativos del estudiantado acerca de la estructura de la célula eucarionte animal, como se muestra en la Figura 4.

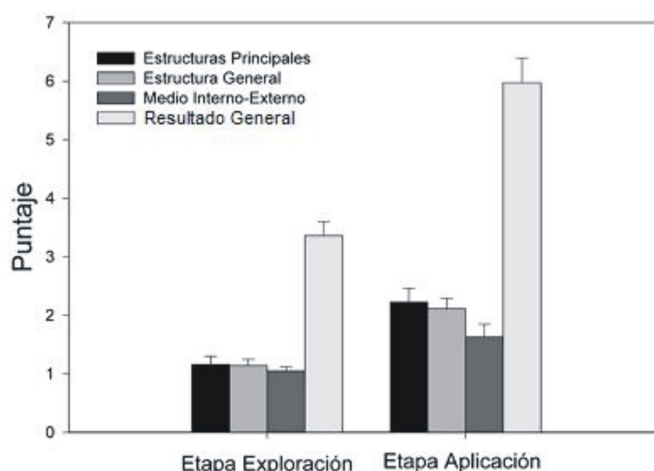


Figura 4: Esquema comparativo entre el puntaje asignado durante las actividades de exploración y aplicación.

Conclusiones y Discusión

A través de esta investigación se evidencia que la construcción de conocimiento científico escolar, corresponde principalmente a las características cognitivas de cada persona involucrada, por lo que se sustenta la importancia de los procesos de modelización en la actividad científica escolar. La riqueza de modelos explicativos del estudiantado, permitió conformar 4 familias de modelos en la etapa de exploración y 7 familias de modelos en la etapa de aplicación, de las cuales 4 eran nuevas y se caracterizaban por presentar relaciones más dinámicas, complejas y flexibles, según la caracterización de Bahamonde (2006).

Los modelos explicativos del estudiantado identificados en la etapa de exploración se caracterizaron por ser simplificados e incompletos, en acuerdo con las investigaciones de Rodríguez y Moreira (1999, 2002) y Rodríguez, Marrero y Moreira (2001). Como se describió en los resultados, estos modelos sólo hacían alusión a las estructuras principales de la célula, sin mencionar otras características fundamentales como la estructura general y el medio interno – externo, lo que puede suponer una reducción de la información de los aspectos más relevantes en relación a la estructura de la célula, tendiendo incoherencia con el modelo teórico científico escolar de la célula, según lo propuesto por el MINEDUC (2009).

Una vez que se incorporo nueva información relevante, a través de la secuenciación de actividades desarrollada en la Unidad Didáctica, emergieron nuevos modelos explicativos de los estudiantes en la etapa de aplicación, los que se caracterizaron por incorporar un lenguaje especializado. Por ejemplo, algunos estudiantes manifestaban en sus modelos nuevas relaciones acerca de la estructura principal celular, identificando cada estructura con su nombre y función. Esta característica demuestra que los modelos explicativos se transforman progresivamente con la aparición de nueva información relevante, según lo descrito por Rodríguez y Moreira (1999) y Justí (2006).

Podríamos concluir además, que existe relación entre los modelos explicativos que el estudiantado construye y los modelos teóricos de los científicos, en acuerdo con Caballer y Giménez (1993). El modelo de Hooke a pesar de ser el más simple e incompleto, fue persistente en un caso (2.7%). La mayoría de los modelos del estudiantado (52.7%), tienen relación con el modelo teórico de Brown (1831), en donde sólo se relacionan las estructuras generales y el núcleo como estructura principal de la célula.

Modelos más complejos y próximos a las visiones de Schleiden y Schwann (1839) en adelante, sólo se manifestaron en el 5.6% del estudiantado. Al parecer, según Clément (2007), esto se debe a que los dibujos que relacionan el modelo de Brown, son representaciones generalizadas en los libros de texto y sólo en algunos países europeos (Alemania y Francia), se introducen dibujos de Schleiden y Schwann, que permiten comprender los aspectos comunes entre células eucariontes y a la célula como unidad funcional, estructural y de origen. Sí bien en el caso de los textos chilenos, se incorporan los aportes de estos científicos alemanes, no se relacionan con los dibujos que aparecen (Carrillo, et al., 2011). Estas dificultades también pueden deberse, principalmente a que los modelos explicativos de las/los estudiantes sólo enriquecieron algunas relaciones y la nueva información que incorporaban, consistió en la asignación de los nombres de los organelos, sin hacer alusión a su estructura ni función.

En particular, se identificó que los aspectos de la célula que tienen que ver con el medio interno-externo de la célula son de mayor dificultad y por ello, varios de los modelos explicativos propuestos por el estudiantado, no los consideran. De esta manera, es posible concluir que los modelos explicativos del estudiantado en general, presentan relaciones de similitud sólo en algunos aspectos con el Modelo Teórico de célula. Particularmente, estas relaciones se centran en la célula como unidad estructural y no se hace mención de la célula

como unidad funcional y/o de origen, relaciones que fundamentan la Teoría Celular actual. Estos resultados, coinciden con las investigaciones de Flores et al., 2000 y Cohen y Yardel, 2010. Dichas dificultades, se puede deber al carácter abstracto de la noción científica de célula (Dreyfus y Jungwirth, 1989; Rodríguez y Moreira, 1999) y al poco abordaje conceptual que se le da a estos aspectos en los libros de texto (Carrillo et al., 2011), por lo que presentan mayor dificultad tanto para la enseñanza, como para el aprendizaje en el estudiantado de educación secundaria.

Finalmente, consideramos que la Unidad Didáctica propuesta a partir del Modelo Cognitivo de Ciencia mejoró significativamente los modelos explicativos del estudiantado y que estos, son factibles de ser enriquecidos a través de nuevos procesos de modelización científica. Quizás incorporar el aporte de las tecnologías de información y comunicación para la simulación, diseño y evaluación de modelos tridimensionales; el uso de las microfotografías obtenidas a través de distintas técnicas con microscopía electrónica; así como la incorporación de la Historia de la Teoría Celular, pueden permitir profundizar la comprensión de estos aspectos abstractos y complejos, relacionados con la estructura funcional del modelo de célula eucarionte animal.

Referencias bibliográficas

- Alurralde, E. y Salinas, J. (2007, mayo). *Modelos explicativos que estructuran las ideas de los estudiantes en física: aportes, resultados e interpretaciones para el aprendizaje del empuje*. Ponencia presentada en las I Jornadas Nacionales de Investigación Educativa - II Jornadas Regionales - VI Jornadas Institucionales, Tucumán, Argentina.
- Alzogaray, R. (2006). *Historia de las células*. Buenos Aires: Estación ciencia.
- Bahamonde, N. (2006). *Los modelos de conocimiento científico escolar de un grupo de maestras de educación infantil: un punto de partida para la construcción de islotes interdisciplinarios de racionalidad y razonabilidad sobre la alimentación humana*. (Tesis Doctoral). Universidad Autónoma de Barcelona, España.
- Caballer, M.J. y Giménez, I. (1993). Las ideas del alumnado sobre el concepto de célula al finalizar la Educación General Básica. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(1), 63-68.
- Camacho, J. y Quintanilla, M. (2008). Resolución de problemas científicos desde la Historia de la Ciencia. Retos y desafíos para promover competencias cognitivas lingüísticas en la química escolar. *Ciência & Educação*, 14(2), 197-212.
- Carrillo et al. (2011). La historia de la Ciencia en la enseñanza de la Célula. *Revista Tecnológica y Didáctica TED*, 29, 112-127.
- CHILE. (2009). *Ministerio de Educación Nacional. Unidad de Currículo y Evaluación. Ajuste curricular en el sector de Ciencias Naturales*. Santiago: MINEDUC Unidad de Currículo y Evaluación.
- Clément, P. (2007). Introducing the Cell Concept with both Animal and Plant Cells: A Historical and Didactic Approach. *Science & Education*, 16(3-5), 423-440.
- Cohen, R. y Yarden, A. (2010). How the curriculum guideline "The Cell is to be studied longitudinally" is expressed in six Israeli junior high school. *Journal of Science Education and Technology*, 19(3), 276-292.
- Díaz, J. y Jiménez, M.P. (2003). Imágenes de las células. *Boletín de ciencias* 200-204.

- Dreyfus, A. y Jungwirth, E. (1989). The pupil and the living cell: a taxonomy of dysfunctional ideas about an abstract idea. *Journal of Biological Education*, 23(1), 49-55.
- Flores, F. et al. (2000). *Representación e Ideas Previas acerca de la Célula en los Estudiantes del Bachillerato*. México: Eds. UNAM.
- Galagovsky, L. y Adúriz-Bravo, A. (2001). Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(2), 231-242.
- Giere, R. (1992). *Understanding Scientific Reasoning*. Chicago, EE.UU.: Holt Rinehart, Winston.
- Guisante, C. (2006). *Tratamiento de datos*. Madrid: Días de Santos.
- Hohenshell, L. y Hand, B. (2006). Writing-to-learn Strategies in Secondary School Cell Biology: A mixed method study. *International Journal of Science Education*, 28 (2-3), 261-289.
- Izquierdo, M. y Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological foundations of school science. *Science y Education*, 12(1), 27 - 43.
- Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 173-184.
- Mengascini, A. (2006). Propuesta Didáctica para el aprendizaje de la organización celular. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(3), 485-495.
- O'Day, D. (2006). Animated Cell Biology: A Quick and Easy Method for Making Effective, High-Quality Teaching Animations. *CBE—Life Sciences Education*, 5(3), 255-263.
- Rodríguez, M. y Moreira, M. (1999). Modelos mentales de la estructura y el funcionamiento de la célula: dos estudios de casos. *Investigações em Ensino de Ciências*, 4(2), 121-160.
- Rodríguez, M. y Moreira, M. (2002). Modelos mentales Vs Esquemas de Célula. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7(1), 77-103.
- Rodríguez, M. (1997). Revisión bibliográfica relativa a la enseñanza/aprendizaje de la estructura y del funcionamiento celular. *Investigações em Ensino de Ciências*, 2(2), 123-149.
- Rodríguez, M. (2003). La célula vista por el alumnado. *Ciência y Educação*, 9(2), 229-246.
- Rodríguez, M.; Marrero, J. y Moreira, M. (2001). La teoría de los modelos mentales de Johnson-Laird y sus principios: una aplicación con modelos mentales de célula en estudiantes del Curso de Orientación Universitária. *Investigações em Ensino de Ciências*, 6(3), 243-268.
- Sandín, M. (2003). *Investigación cualitativa en Educación*. Madrid: Mc Graw Hill.
- Sanmartí, N. (2000). El diseño de unidades Didácticas. En Perales, F.J. y Cañal, P. (Eds.) *Didáctica de las Ciencias Experimentales* (págs. 239-266). Madrid: Marfil.
- Sanmartí, N. e Izquierdo, M. (1998). Enseñar a leer y escribir textos en ciencias. En Jorba, J., Gómez, L. y Prat, A. (Eds.). *Hablar y escribir para aprender*. (págs. 181-199). Bellaterra: ICE de la UAB.
- Soares, F et al. (2008). Estrategia didáctica com uso de analogias no ensino de biologia celular. *Revista Brasileira de Biociências*, 6(1), 37-38.
- Toulmin, S. (1977). *La comprensión humana. Vol.1 El uso colectivo y la evolución de conceptos*. Madrid: Alianza Editorial.

- Verhoeff et al. (2008). Systems modelling and the development of coherent understanding of cell biology. *International Science Education*, 30(4), 543–568.
- Vial, J. (1999). *Historia de la Célula*. Santiago: Universitaria.
- Welsh, S. (2002). Advice to a New Science Teacher: The Importance of Establishing a Theme in Teaching Scientific Explanations. *Journal of Science Education and Technology*, 11(1), 93-96.

Anexo 1. Modelo analógico entre el globo y la célula eucarionte animal

Para comenzar, son necesario los siguientes materiales: un globo, agua y juguetes de distintos tamaños.

La/El docente introduce agua al globo y los juguetes de distintos tamaños. Se propone que las/los estudiantes, elaboran hipótesis respecto de la relación analógica entre el globo, el agua y los juguetes en comparación con el contenido celular, por ejemplo el agua representaba el citoplasma, una pelota mediana el núcleo, un juguete de plástico la mitocondria, unos porotos los lisosomas, entre otros. Este proceso puede dirigirse con preguntas como la siguiente:

- ¿Qué representa el agua del globo en comparación con el contenido de una célula eucarionte animal?
- ¿Qué representa cada juguete del globo en comparación con el contenido de una célula eucarionte animal?

Una vez se termine la actividad, se propone que el estudiantado, de manera individual, escriba ¿Cuál es la relación que establece al observar la actividad del globo y la estructura de célula eucarionte animal? ¿Qué diferencias hay entre lo que pensaba antes y lo que piensas ahora, con respecto a la estructura célula eucarionte animal?

Anexo 2. Solidarizando con una célula eucarionte animal

Para iniciar el diseño de una maqueta de la célula eucarionte animal, se proponen las siguientes preguntas, de tal manera de anticiparse a la elaboración ¿Cómo harían la maqueta de la célula eucarionte?, ¿Qué materiales utilizarían y por qué? ¿Qué harían primero? ¿Cómo representarán cada una de las estructuras principales de la célula eucarionte animal y sus organelas?

Una vez se consensué un plan de trabajo en cada grupo, se entregarán los materiales correspondientes y se iniciará la construcción de una maqueta de la célula eucarionte animal, de acuerdo a los conocimientos que posean.

Finalmente, cada grupo debería escribir una carta explicando a las/los estudiantes de la comuna de Lolol de la Provincia de Colchagua de la Sexta Región, como un regalo por la situación vivida tras el terremoto del 27 de febrero del 2010, la estructura de su maqueta en relación a la célula eucarionte animal.

Durante esta etapa se recomienda el trabajo grupal, ya que los estudiantes trabajan intercambiando ideas y reafirmando sus conocimientos. Además, se promueve el compañerismo, el respeto por la diversidad de ideas y la integración de nuevos puntos de vista.

Anexo 3. Rúbrica de Análisis Cuantitativo

Aspecto a evaluar	Puntaje			
	4	3	2	1
Estructuras principales (Membrana plasmática, Citoplasma y Núcleo) de la célula eucarionte animal.	Explica la estructuras principales	Reconoce y describe las estructuras principales	Reconoce o describe las estructuras principales	No menciona las estructuras principales
Estructura general de la célula eucarionte animal.	Explicar la estructura general de la célula eucarionte Animal.	Reconoce y describe la estructura general de la célula eucarionte Animal	Reconoce o describe la estructura general de la célula eucarionte animal.	No menciona la estructura general de la célula eucarionte animal.
Medio interno y externo celular en relación al intercambio de sustancias.	Explica relaciones con respecto al medio interno y externo de la célula	Reconoce y describe la existencia del medio interno y externo de la célula	Reconoce o describe la existencia del medio interno y externo de la célula	No menciona la existencia del medio interno y externo de la célula