

Animar la división celular (mitosis): una propuesta didáctica con la técnica de *slowmation*

Maricel Occelli ^{1,a}, Leticia Garcia-Romano ^{1,b}, Nora Valeiras ^{1,c}, Pedro A. Willging ^{2,d}

¹FCEFyN Universidad Nacional de Córdoba-CONICET. Argentina.

²Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Universidad Nacional de La Pampa. Argentina

^a maricel.occelli@unc.edu.ar, ^b lgarciaromano@gmail.com, ^c nvaleiras@yahoo.com, ^d pwillging@gmail.com

[Recibido en Julio de 2016, aceptado en enero de 2017]

El aprendizaje de la división celular exige un razonamiento complejo y por ello, una manera de abordarlo es a través de la creación de representaciones externas por parte del estudiante. Una estrategia posible es la construcción de animaciones a través de una modificación de la técnica de rodaje stopmotion conocida como *slowmation*, la cual permite crear videos con recursos disponibles en aulas de escuela secundaria. Es por ello que en este trabajo se evalúa cómo un diseño didáctico generado para el abordaje de la división celular a través de su representación con animaciones, promueve la construcción de significados en el aula de escuela secundaria. La propuesta se desarrolló con 71 estudiantes de segundo año de tres escuelas secundarias de la ciudad de Córdoba, Argentina de 13-14 años de edad. Para la evaluación se grabaron los diálogos de los estudiantes durante todo el proceso de animación, se tomaron registros fotográficos y al finalizar se aplicó una encuesta a los estudiantes. A partir de los resultados obtenidos encontramos que la creación de animaciones permitió la construcción de significados, promovió la modificación de ideas y generó espacios para la explicación de conceptos por parte del docente, la reflexión conceptual entre los estudiantes y, la emergencia de posibles confusiones que requieren de la intervención docente.

Palabras clave: División celular; Representaciones externas; Animaciones; Slowmation, TIC.

Animating Cell Division (Mitosis): A Didactic Proposal with the *Slowmation* Technique

Learning cell division requires complex reasoning and therefore a way to address it is through the creation of external representations by the student. One possible strategy is the construction of animations through a modification of the Stopmotion technique known as *Slowmation*, which allows to create videos with resources that are available in secondary school classrooms. Thus, in this paper it is evaluated how an instructional design for cell division through its representation with animations, promotes the construction of meaning in high school classrooms. The proposal was developed with 71 students of 2nd year at three high schools in the city of Cordoba, Argentina (13-14 years old). For the evaluation, student dialogues were recorded throughout the animation process, photographic records were taken and at the end a survey was applied to students. From the results we found that creating animations allowed the construction of meanings, promoted the modification of ideas and created spaces for explaining concepts by the teacher, conceptual thinking among students and the identification of possible confusion that requires teacher intervention.

Keywords: Cell Division; External Representations; Animations; Slowmation; ICT.

Para citar este artículo: Occelli M., Garcia-Romano, L., Valeiras, N., Willging, P.A. (2017) Animar la división celular (mitosis): una propuesta didáctica con la técnica de *slowmation*. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 14 (2), 398–409. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/19225>

Introducción

A partir de la llamada *revolución molecular* el campo de estudio de la Biología se reestructuró y los fundamentos de genética se constituyeron en pilares fundamentales (Mayr 2006). En consecuencia, diversos conceptos biológicos asociados a la genética resultan ineludibles en la enseñanza de la Biología. En particular, un concepto clave para el estudio de la herencia genética es la división celular (Williams *et al.* 2012, Gil y Martínez Peña 2013). La comprensión de este concepto, implica poner en juego elementos concretos y abstractos en conjunto con

visiones espaciales, sistémicas y temporales (Treagust y Tsui 2013). En otras palabras, el aprendizaje de los procesos de división celular exige un razonamiento complejo.

Este nivel de complejidad conceptual puede explicar las dificultades que presentan los estudiantes de la escuela secundaria en el estudio de la división celular (Smith y Kindfield 1999). Al respecto, Riemeier y Gropengießer (2008) registraron que los estudiantes suelen asociar erróneamente a la división celular con una disminución en el número de cromosomas. Por lo tanto, la enseñanza de este concepto requiere de estrategias didácticas que eviten la consolidación de modelos conceptuales equivocados.

Un modelo conceptual puede ser expresado en uno o varios registros semióticos tales como el lenguaje natural, una imagen, una maqueta, etc. (Buckley 2000). Estos tipos de expresiones concretas de un modelo son denominados representaciones externas, las cuales son creadas para comunicar, negociar significados, resolver problemas, mejorar la cognición, el razonamiento o las habilidades operativas (Adúriz-Bravo *et al.* 2005).

Desde un enfoque sociocultural, la construcción de significados ocurre a partir de la interacción permanente del hombre con su ambiente, transformándolo y transformándose a sí mismo (Wertsch 1999). Este proceso, así como toda actividad humana, está mediado por herramientas y símbolos culturales, los cuales son reelaborados permanentemente por el sujeto y le permiten producir significaciones (Rodríguez-Arocho 2003). A su vez, para comunicarnos y aprender utilizamos múltiples medios, modalidades y sistemas de representación (Kress 2010). En general en el aula suelen incorporarse diferentes registros semióticos (dibujos, maquetas, textos, ecuaciones, tablas, etc.) como representaciones externas a ser analizadas o construidas por parte de los estudiantes (Kress *et al.* 2001).

Respecto del vínculo entre la construcción de conocimiento conceptual y las representaciones externas, un aspecto importante a destacar es que existe una relación recíproca en la cual lo conceptual, restringe y determina los significados representacionales, y a su vez, las características de la representación sirven como modelo y transforman los aspectos conceptuales (Pérez-Echeverría *et al.* 2010). Desde esta perspectiva, las representaciones externas no constituyen solo un medio para acceder al conocimiento o comunicarlo. Sino que más bien, son construcciones semióticas, con características propias, que permiten conocer y aprender (Pérez Echeverría y Scheuer 2009, Prain y Tytler 2012).

En este sentido, las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) abren un gran abanico de acceso a diversas representaciones. En particular, para la enseñanza de conceptos abstractos, las animaciones o los programas de simulación se han popularizado como recursos educativos positivos (Barak *et al.* 2011). Sin embargo, si solo se observan animaciones se puede inducir a los estudiantes a pensar que lo observado es literal y no una representación, ya que para ello es necesario que se comprendan conceptos básicos de modelización. No obstante, si el propio estudiante debe diseñar la animación, se provoca un compromiso cognitivo mucho mayor, ya que requiere comprender en profundidad el proceso que se desea animar. La animación constituye una representación externa cuyo resultado se inscribe en el espacio y tiene una permanencia que facilita su manipulación (Martí 2003), por lo tanto a partir de la animación creada por un grupo de estudiantes es posible *observar* cómo ellos interpretan el fenómeno en estudio. Así, a través de la construcción de animaciones, se coloca a los estudiantes como productores de conocimiento y se potencia a estos recursos como herramientas que permiten «pensar con» las TIC (Borba y Penteadó 2001).

Una manera de crear animaciones es a través de *stopmotion*, una técnica de rodaje que consiste en el registro fotográfico estático y secuencial de imágenes, dibujos, marionetas, siluetas u otros objetos inanimados, para luego simular su movimiento por medio de la proyección

consecutiva de los registros fotográficos utilizando algún software. En general, una película elaborada con stopmotion tiene una velocidad de proyección que implica entre 25 y 32 fotos por segundo. Por lo tanto, para lograr un video de un minuto se requiere contar con más de 1500 fotografías, lo cual constituye una limitante para su utilización en contextos educativos. Al respecto, una simplificación de esta técnica es la producción de videos a través de *slowmation* (como abreviatura de *slow* y *animation*), que requiere una menor cantidad de fotografías por segundo y se adapta a los recursos tecnológicos que pueden estar disponibles en un aula como por ejemplo teléfonos móviles, notebooks o tablets (Hoban 2005). Para crear una animación, es necesario construir un *guión* o secuencia de movimientos que se desean representar, y es en este proceso de diseño y animación que se brindan oportunidades para pensar, cuestionar, construir y reconstruir los procesos que se desean animar (Hoban y Nielsen 2014). Considerando estas características de la creación de animaciones, en este trabajo evaluamos cómo un diseño didáctico generado para el abordaje de la división celular a través de su representación con animaciones, promueve la construcción de significados en el aula de escuela secundaria.

Descripción y fundamentación de la experiencia

La experiencia que desarrollamos está fundamentada en la estrategia de enseñanza diseñada por Hoban y Nielsen (2010) para la implementación de *slowmation* en instancias de formación docente. La estrategia se denomina «5Rs» en referencia a las cinco instancias o fases de representación multimodales que incluye. En nuestra secuencia, realizamos una adaptación del modelo 5Rs para aplicarlo a estudiantes de escuela secundaria tal como se resume en la Tabla 1. A continuación describimos en detalle la experiencia y cada una de las fases propuestas.

Tabla 1. Fases de representación que incluye la propuesta didáctica implementada.

Fase de Representación	Síntesis de la actividad de representación propuesta
R 1	Observación de un video dinámico que representa el proceso de división celular.
R 2	Escritura de un guión para planificar el diseño de la animación.
R 3	Construcción de modelos en tres dimensiones utilizando plastilinas y toma de fotografías digitales a medida que son movilizados de forma manual.
R 4	Creación de la animación
R 5	Observación de los videos contruidos por los compañeros.

La experiencia se inició con la proyección de un video disponible en Youtube¹ que sintetiza los procesos de la división celular y los representa de manera tridimensional y dinámica. A continuación, se organizó a los alumnos en grupos de trabajo con el objetivo de que ellos pudieran crear a través de la técnica de *slowmation* un video que represente el proceso de división celular. En este caso propusimos trabajar específicamente con *plastimación* (*claymation* en inglés), es decir, imágenes con volumen tomadas a partir de objetos de plastilina. La plastilina puede utilizarse para representar los cromosomas, las fibras de huso, los límites de las membranas celulares, etc. (Figura 1).

La consigna propuesta fue: «Representen con la técnica de *slowmation* el proceso de división celular o mitosis, para una célula de una mosca ($2n=4$), es decir que posee cuatro cromosomas. Para ello deberán construir en primera instancia el guión cinematográfico del video y seleccionar qué estructuras de la célula representarán, por ejemplo membrana plasmática, membrana nuclear, cromosomas, fibras de huso, centrosoma, etc.»

¹ <https://www.youtube.com/watch?v=hF14BaaMCOg>



Figura 1. Ejemplos del diseño con *plastimación* realizado por estudiantes de secundaria para representar el proceso de división celular.

A fin de orientar la tarea de los estudiantes y promover la discusión de sus ideas en relación con la mitosis, se presentaron los siguientes interrogantes: ¿cuántos cromosomas tiene la célula inicial?, ¿cuántos deberán tener las células hijas?, ¿cómo se vería el ADN antes del comienzo de la división celular?, ¿cómo se verían los cromosomas luego?, ¿cuántas fases o momentos representarán?, ¿qué movimiento será necesario que se perciba en cada caso? Una vez discutidas esas preguntas, los estudiantes trabajaron en la construcción del *guión* o secuencia de movimientos completando una tabla con tres columnas: 1) Número de la escena; 2) Descripción de la escena y 3) Observaciones.

En la construcción del *guión* se busca que los estudiantes representen el proceso a través de la escritura. A su vez, la elaboración del *guión* implica pensar en el diseño y la animación de un proceso continuo. Esta actividad brinda oportunidades para romper con la idea de disminución del número de cromosomas comúnmente asociada a la mitosis (Riemeier y Gropengießer 2008) y pensar más bien en este proceso como multiplicación celular.

Como recomendaciones específicas para la construcción del *guión* se indicó a los estudiantes la importancia de fotografiar interfases de cada movimiento para que se observen de manera fluida. A su vez, a fin de lograr una continuidad entre las escenas, se sugirió mantener constante el mismo escenario y las proporciones de los elementos representados. Con esta información los estudiantes desarrollaron el *guión* para su video (Figura 2). En los *guiones*, los estudiantes escribieron de modo descriptivo para cada escena: los componentes celulares a incluir y sus características, la situación a representar, los materiales a utilizar y la dinámica del movimiento que se buscaría simular. Este trabajo, así como todo el desarrollo de la experiencia, fue mediado por el docente del aula quien participó como un guía orientador de las actividades.



Figura 2. Alumnos trabajando en la construcción del *guión*.

A continuación, comenzaron a construir las escenas y a fotografiarlas utilizando los siguientes materiales: láminas de plástico de alto impacto (como escenario o base), plastilinas de

diferentes colores, masa de sal, regla y marcadores. Según las disponibilidades tecnológicas se utilizaron cámaras fotográficas digitales con trípode, cámaras fotográficas disponibles en netbooks o cámaras de teléfonos celulares (Figura 3). Por último, para la compilación de las fotografías y la edición final del video se utilizó el software libre Monkey Jam².

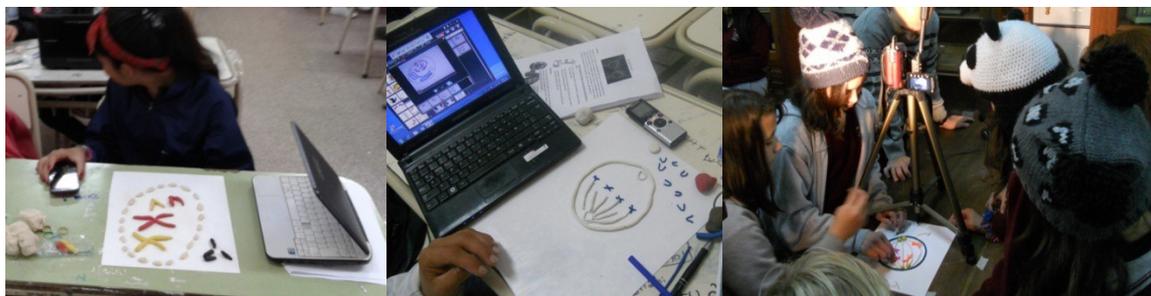


Figura 3. Utilización de diferentes herramientas tecnológicas para la construcción del video.

En la construcción de las escenas los estudiantes pasan la representación elaborada como texto en el guión a otro tipo de representación gráfica y por último cuando procesan las imágenes y construyen el video, pasan a otro nivel de representación que incluye además una variable dinámica del proceso. Al respecto, encontramos que esta secuencia de actividades tiene un alto valor como productor de significados, ya que como propone Lemke (2002), no se estarían sumando los valores de representar la mitosis con cada tipo de lenguaje (texto, imagen, video), sino que la interacción del conocimiento con cada lenguaje permitiría la construcción de un significado nuevo multiplicativo como fruto de interpretaciones conjuntas.

Por último, una vez construidos los videos, se proyectaron todos los videos creados y fueron los propios estudiantes quienes los evaluaron a partir de los siguientes criterios: cumplimiento de la consigna del trabajo, correspondencia entre el número de cromosomas de la célula inicial y el número de cromosomas de las células hijas y fluidez de la representación.

Implementación y evaluación de la propuesta

La propuesta didáctica se desarrolló con 71 estudiantes de 2° año de tres escuelas secundarias de la ciudad de Córdoba (Argentina) (13-14 años de edad). En cada caso, la experiencia fue desarrollada en el marco de la asignatura de Biología. Para la evaluación de la propuesta, se solicitó a los estudiantes que completaran una encuesta anónima en la cual se indagó sobre los aprendizajes promovidos y su opinión acerca de la experiencia (Anexo 1). A su vez, se grabaron los diálogos de los estudiantes durante todo el proceso de animación y se tomaron registros fotográficos. Para garantizar el anonimato, cuando hacemos referencia específica a los aportes de algún estudiante utilizamos un nombre ficticio manteniendo su género y edad.

En relación a cuáles son los aprendizajes percibidos por los estudiantes, encontramos que la mayor parte indicó haber aprendido el proceso de mitosis, sus fases y los movimientos de los componentes de la célula al dividirse. A su vez, algunos comentaron también haber aprendido procedimientos como la edición de videos o «hacer videos con muchas fotos». En la Figura 4 se observan los porcentajes de las respuestas brindadas por los estudiantes cuando se les solicitó que definieran la mitosis con una palabra o frase corta. Si bien un 18% seleccionó la propia palabra de «mitosis» y otro 18% lo definió como «división celular», un 43% se centró en el proceso «separación» de los cromosomas en las células hijas y algunos especificaron que esta separación se realizaba de modo igualitario para cada célula hija, incluso un 10% orientó

² <http://monkeyjam.org/>

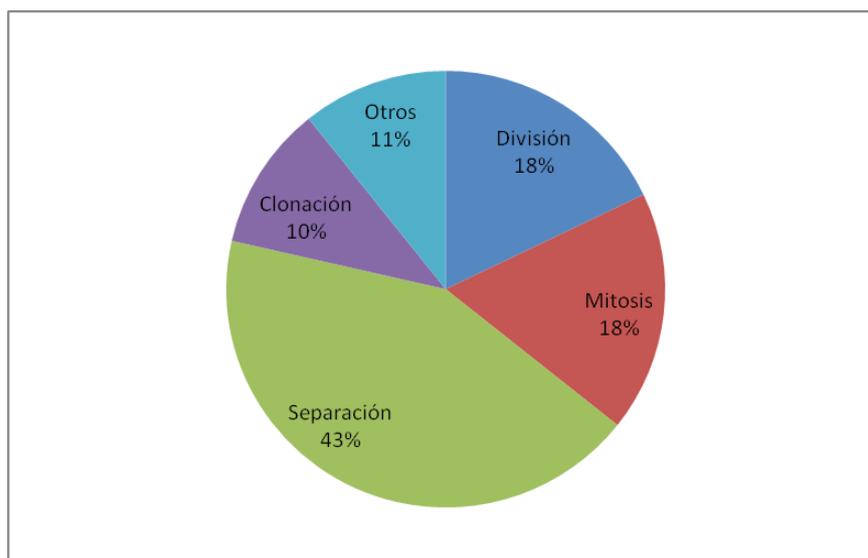


Figura 4. Porcentaje de respuestas de palabras o frases cortas que expresaron los estudiantes para definir a la mitosis.

su definición en el resultado final eligiendo «clonación» como palabra de síntesis, mientras que un 11% brindó otras respuestas alejadas de la temática.

Al analizar el progreso en la comprensión del tema que perciben los estudiantes, se destaca que el 60% reconoció un avance al respecto. Es decir que los estudiantes indicaron respuestas como «antes tenía una idea sobre el tema mitosis» o «nunca había escuchado sobre la mitosis» y después de realizar la experiencia «entiendo el tema mitosis y podría explicarlo» o «tengo una idea sobre el tema mitosis». Estas respuestas de los estudiantes se corresponden con lo encontrado cuando se les solicitó una explicación sobre qué ocurre en la mitosis. Al respecto, se destaca que un 76% logró explicar el proceso de la mitosis y dentro de este grupo se incluye un 40% que brindó explicaciones completas del proceso, especificando que la separación de los cromosomas ocurre de modo equitativo entre células hijas y que por lo tanto el resultado son células idénticas a la célula madre. Algunos ejemplos de este tipo de respuesta son:

- «La mitosis es la separación de los cromosomas y se forman dos células hijas iguales.» (Lourdes 13 años)
- «Los cromosomas se separan formando 2 células hijas iguales.» (Fabián 13 años)
- «En la mitosis los cromosomas se separan. Las células hijas tienen el mismo tamaño que las células madres (las células son iguales).» (Daniela 14 años).
- Por otra parte, el 36 % restante construyó explicaciones más generales referidas solo al proceso de separación de los cromosomas o sin especificar que el resultado son células hijas idénticas. Algunos ejemplos de este tipo de respuesta son:
 - «En la mitosis ocurre la separación de los cromosomas.» (Rodrigo 14 años)
 - «Se separan los cromosomas para formar nuevas células.» (Carlos 13 años)

A partir de estos resultados, surge un aspecto interesante para discutir acerca de las ideas de los estudiantes en relación a la mitosis. En cuanto al alto porcentaje que elige como palabra síntesis *separación* se podría pensar que se estaría reforzando la concepción reseñada por Riemeier y Gropengießer (2008) quienes indican que los estudiantes entienden a los cromosomas como una colección de piezas que deben compartirse entre dos células, lo cual en definitiva lleva a un modelo de reducción. Sin embargo, si la división celular es abordada en

contexto y el estudiante debe representar el proceso desde una célula madre que tiene que duplicar su material genético, esta separación de cromosomas puede comprenderse con la finalidad de producir dos células idénticas y no para producir células con una carga genética reducida. Con esta propuesta, observamos que a partir de la animación de la división celular, el 40 % de los estudiantes al definir mitosis logran especificar justamente que es una separación de cromosomas cuya finalidad es la producción de células idénticas. Por lo tanto, se infiere que al referirse a células idénticas los estudiantes ponen en juego la composición genética de las células, ya que esta igualdad se obtendría como resultado de una distribución una a una de las cromátidas de cada cromosoma. Así, esta vinculación teórica que logran los estudiantes también muestra cómo la representación, para esos estudiantes, se convierte en una oportunidad para conocer y aprender, en este caso sobre la mitosis celular (Pérez Echeverría y Scheuer 2009).

Otro aspecto que se indagó fue qué tipo de actividades creían los estudiantes que favorecieron a la comprensión del tema. Al respecto, se observa que los momentos de aprendizaje más valorados por los estudiantes fueron durante la creación de las escenas (57%), es decir al jugar con plastilinas armando las distintas fases, durante la observación del video al inicio de la clase (40%) y al observar los videos construidos por ellos mismos (39%), los cuales presentan a la mitosis como un proceso dinámico y complejo, en menor proporción indicaron la construcción del guion, la edición del video y la resolución del cuestionario final (Figura 5).

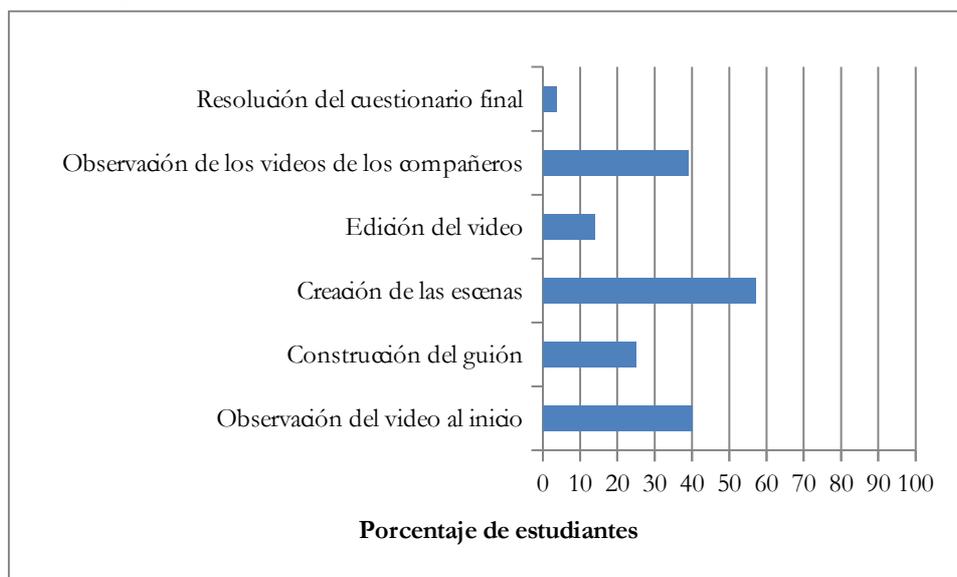


Figura 5. Porcentaje de estudiantes que identificó cada una de las actividades que les permitieron aprender.

Estos resultados indican que la actividad de construir las escenas en las cuales se ponen en juego tanto las concepciones referidas al proceso de división celular como sus habilidades para crear de modo concreto un tipo de representación, es altamente valorada por los estudiantes. A su vez, también encuentran muy útil la observación de otros tipos de representaciones, tanto la proyectada al inicio del trabajo, como los videos construidos por los compañeros. En relación a esta última actividad, el valor asignado por los estudiantes coincide con lo encontrado por Chang *et al.* (2010) quienes registraron el impacto positivo de la evaluación por pares en la creación de animaciones por parte de los estudiantes. En la evaluación de los videos elaborados por sus compañeros los estudiantes son colocados en un lugar activo, ponen en juego sus propias concepciones acerca del fenómeno simulado y lo contrastan con la representación lograda por sus compañeros, por lo tanto constituyen instancias de alto valor cognitivo.

Por otra parte, para la evaluación de la propuesta también se realizó un análisis de los diálogos que mantuvieron los estudiantes mientras construían sus videos y que fueron registrados con grabadores. A partir de ello, se pudo identificar cómo la estrategia de representación propuesta promovió espacios para que tuvieran lugar al menos tres tipos de situaciones de enseñanza y aprendizaje: explicación de conceptos por parte del docente, reflexión conceptual entre los estudiantes e identificación de posibles confusiones e intervención docente. A continuación se desarrollan cada una de ellas y se ejemplifican con extractos de diálogos.

Una primera situación que pudo identificarse, fue la explicación espontánea de conceptos por parte del docente. Al respecto, en el diálogo transcrito al final de este párrafo, se ejemplifica cómo el docente se acerca espontáneamente a un grupo, los anima con una frase y luego pasa a explicarles qué proceso de la división mitótica están realizando, es decir que reubica la actividad manual que están realizando en el contexto del concepto biológico que se busca simular. A continuación, les indica lo necesario de representar que la membrana nuclear desaparece, lo cual no había sido considerado por el grupo de alumnos y cuando el docente lo advierte les explica cómo ocurre dicho proceso y a su vez cómo lo podrían simular.

Profesora: ¡Van de diez ustedes! Ahora fíjense que de la transición de esto a esto, ustedes lo que están haciendo es por un lado lo que sería la condensación del ADN

Sandra: Por otro lado se están yendo a los polos

Profesora: Eso. ¡Muy bien! y hay otra cosa que también tienen que ir pasando, que es que se rompe la membrana nuclear

Andrea: ¿Se va rompiendo?

Profesora: Sí, se va rompiendo la membrana nuclear y ustedes los tienen que sacar del escenario, es decir, van sacando los pedacitos. Finalmente para pasar a esta escena no tienen que tener la membrana nuclear

Asimismo, la resolución de la actividad de modo grupal da lugar a que los estudiantes reflexionen entre ellos acerca de aspectos conceptuales. En el diálogo transcrito al final de este párrafo se observa la transcripción de un diálogo en el cual tres estudiantes intercambian ideas acerca de su tarea. Si bien el diálogo se inicia al parecer por una opinión estética, a partir de ello, los estudiantes hacen explícito que el proceso que están representando es dinámico y que tiene un ciclo. Incluso se da lugar a que discutan cuál es el vínculo entre el concepto de “célula” que tienen y la representación que están realizando.

Federico: Eso está muy ovalado

Luis: No

Federico: Pero te tenés que dar cuenta, está ovalado

Andrea: Sí, ya sé pero ahora se va formando, tiene un ciclo

Luis: pero qué, ¿vos te creés que la célula es así perfecta siempre?

Federico: no

Luis: Ah! Bueno

Por último, identificamos que el proceso de construcción del video expone las concepciones que tienen los estudiantes, ya que construyen una secuencia de imágenes según cómo creen que este proceso ocurre. Por lo tanto, crea condiciones para que el docente pueda entablar discusiones referidas a las interpretaciones que tienen los estudiantes sobre el proceso de división celular. Un ejemplo de ello se observa en el diálogo transcrito a continuación:

Este diálogo ocurre entre los integrantes de un grupo de tres estudiantes, quienes luego de realizar el guión, comenzaron a construir los modelos tridimensionales y eligieron un color diferente para

representar a cada cromosoma (verde, naranja, amarillo y negro). Luego de construir diferentes etapas tiene lugar el siguiente diálogo:

Gabriel: Profe y ¿ahora?

Profesor: ¿Ya está?

Gabriel: Sí

Julián: Hay que multiplicarla a esa

Profesor: Una cosita, ¿cuántos tienen acá?

Agustín: cuatro y cuatro

Profesor: y ahora ustedes están haciendo dos y dos

Julián: ¡Es lo que estaba diciendo yo! Claro de cuatro colores distintos como el primero como te decía yo.

Julián: Primero hagamos esa y después aquella

Profesor: ¿Cuántos colores tenían al principio?

Gabriel: Ah, (faltan) negro y amarillo

Profesor: Claro, de pronto a ustedes se les había desaparecido el negro y el amarillo

Gabriel: ¿Y ahora?

Julián: Hay que multiplicarlo, dos de cada uno, no sé cómo va a entrar todo eso acá

Gabriel: ¿Cómo?

Julián: Dos de este, dos de este, dos de este y dos de este

(...)

Gabriel: Tenés que hacer las líneas acá

Julián: ¿Cómo las líneas?

Gabriel: Estas así como hicimos al principio, en la primera célula, las verdes esas

Julián: Ah, las juntamos a estas así

Gabriel: Sí, pero una sola. Hagamos una de cada una y después se duplican así.

Julián: Ah!

Gabriel: Una de esta, una de esta,

Agustín: No me gusta que quede esto así

Julián: Esta también?

Gabriel: Una de cada color como hicimos al principio

Allí se observa cómo, a partir de las fotos que los estudiantes muestran, el docente logra advertir que habría una idea de reducción cromosómica, y por ello les pregunta acerca del número de cromosomas que están representando y les hace recordar cuántos cromosomas tenían al inicio (al preguntarle sobre cuántos colores tenían), a partir de lo cual los propios estudiantes advierten que han omitido dos cromosomas (dos colores: negro y amarillo), se dan cuenta del error y de qué deberían hacer para solucionarlo, evidenciando que comprenden el concepto central del proceso cuando especifican que deben construir dos de cada uno de los cromosomas para que en el resultado final quede igual que la célula inicial. Así, a partir de la elaboración del video, se pudo dialogar con los estudiantes en relación a su posible modelo reduccionista (Riemeier y Gropengießer 2008), vincularlo con la duplicación inicial del

material genético y construir un concepto de mitosis como aquel proceso que permite la separación de las cromátidas de cada cromosoma de modo equitativo entre células hijas y que da como resultado la producción de dos células idénticas a la célula madre.

Reflexiones finales

En este trabajo presentamos una propuesta didáctica para abordar la mitosis a través de su representación externa con la técnica de slowmation. En función de los resultados obtenidos a partir de su implementación con tres grupos de estudiantes de escuela secundaria, se puede concluir que representar la mitosis mediante un video realizado por el propio estudiante podría contribuir a la construcción de significados y la modificación de aquellas ideas que asocian al proceso de división celular con la pérdida del número de cromosomas en las células hijas. A su vez, genera situaciones para la enseñanza y el aprendizaje como la explicación de conceptos por parte del docente, la reflexión conceptual entre los estudiantes y, la identificación de posibles confusiones que requieren de la intervención docente. En consecuencia, tal como plantean Pérez Echeverría y Scheuer (2009) y Prain y Tytler (2012), encontramos que proponer a los estudiantes situaciones didácticas centradas en la creación de representaciones externas implica brindarles oportunidades para aprender conocimientos científicos específicos. Por lo tanto, consideramos que esta propuesta constituye un aporte didáctico significativo a la enseñanza de la biología celular para la escuela secundaria.

Agradecimientos

A los Profesores Adriana Diván, Tania Malin Vilar y Juan Manuel Cabrera y sus estudiantes por su participación. A la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad de los autores por su aporte económico.

Referencias bibliográficas

- Adúriz-Bravo A., Gómez A., Márquez C., Sanmartí N. (2005) La mediación analógica en la ciencia escolar: la propuesta de «función modelo teórico». *Enseñanza de las Ciencias* número extra, 1-5.
- Barak M., Ashkar T., Dori Y.J. (2011) Learning science via animated movies: Its effect on students' thinking and motivation. *Computers & Education* 56, 839-846.
- Borba M., Penteadó M. (2001) Reorganização do pensamento e colectivo pensante. En: Borba M., Penteadó M. (eds.). *Informática e Educação Matemática*. Belo Horizonte: Autêntica Editora.
- Buckley B.C. (2000) Interactive multimedia and model-based learning in biology. *International Journal of Science Education* 22 (9), 895-935.
- Chang H.Y., Quintana C., Krajcik J.S. (2010) The Impact of Designing and Evaluating Molecular Animations on How Well Middle School Students Understand the Particulate Nature of Matter. *Science Education* 94 (1), 73-94.
- Chin C., Osborn J. (2010) Students' Questions and Discursive Interaction: Their Impact on Argumentation During Collaborative Group Discussions in Science. *Journal of Research in Science Teaching* 47 (7), 883-908.
- Gil M.J., Martínez Peña B. (2013) Conocer lo pequeño para comprender lo grande. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales* 74, 36-43.
- Hoban G., Nielsen W. (2010) The 5 Rs: A new teaching approach to encourage slowmations (student generated animations) of science concepts. *Teaching Science*, 56 (3), 33-38.

- Hoban G. (2005) From claymation to slowmation: A teaching procedure to develop students' science understandings. *Teaching Science* 51(2), 26-30.
- Hoban G., Nielsen W. (2014) Creating a narrated stop-motion animation to explain science: The affordances of "Slowmation" for generating discussion. *Teaching and Teacher Education* 42, 68-78.
- Kress G. (2010) *Multimodality. A social semiotic approach to contemporary Communications*. Londres: Routledge.
- Kress G., Jewitt C., Ogborn J., Tsatsarelis C. (2001) *Multimodal teaching and learning: The rhetorics of the science classroom*. London and New York: Continuum.
- Lemke J.L. (2002) Metamedia Literacy: Transforming Meanings and media en Reinking D., McKenna M., Labbo L., Kieffer R. (Eds.) *Literacy for the 21st Century: Technological transformations in a post-typographic world*. Hillsdale, NJ: Erlbaum. Recuperado de: <http://academic.brooklyn.cuny.edu/education/jlemke/reinking.htm>
- Martí E. (2003) *Representar el mundo externamente. El desarrollo infantil de los sistemas externos de representación*. Madrid: Antonio Machado.
- Mayr E. (2006) *Por qué es única la Biología: Consideraciones sobre la autonomía de una disciplina científica*. Buenos Aires: Katz.
- Pérez Echeverría M.P., Scheuer N. (2009) External representations as learning tools, pp.1-18 en Andersen C., Scheuer N., Pérez Echeverría M.P., Teubal E. (Eds.), *Representational systems and practices as learning tools in different fields of knowledge*. Rotterdam: Sense.
- Pérez-Echeverría M.P., Martí E., Pozo J.I. (2010) Los sistemas externos de representación como herramientas de la mente. *Cultura y Educación*, 22 (2), 133-147.
- Prain V., Tytler R. (2012). Learning Through Constructing Representations in Science: A framework of representational construction affordances. *International Journal of Science Education*, 34 (17), 2751-2773.
- 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.
- Rodríguez-Arocho W.C. (2003) Interacción social y mediación semiótica: herramientas para reconceptualizar la relación desarrollo-aprendizaje. *EDUCERE* 6 (20), 369-379.
- Smith M.U., Kindfield A.C.H. (1999) Teaching Cell Division: Basics & Recommendations. *The American Biology Teacher* 61(5), 366-371.
- Treagust D.F., Tsui C-Y. (eds.) (2013) *Multiple Representations in Biological Education*. Nueva York. Springer.
- Wertsch J.V. (1999) *La mente en acción*. Aique: Capital Federal.
- Williams M., Haydel DeBarger A., Montgomery B.L., Zhou X., Tate E. (2012). Exploring Middle School Students' Conceptions of the Relationship Between Genetic Inheritance and Cell Division. *Science Education* 96 (1), 78-103.

Anexo 1. Cuestionario suministrado a los estudiantes**Algunas preguntas para reflexionar y ayudarnos a mejorar!**

- 1) ¿Qué crees que aprendiste hoy?
- 2) Si tuvieras que decir una palabra o una frase corta para definir a la mitosis ¿cuál usarías?
- 3) Antes de esta clase creo que (marca solo una opción):
 - Entendía el tema de mitosis y podía explicarlo
 - Tenía una idea sobre el tema mitosis
 - No entendía el tema mitosis
 - Nunca había escuchado sobre la mitosis
- 4) Después de esta clase creo que (marca solo una opción):
 - Entiendo el tema de mitosis y podría explicarlo
 - Tengo una idea sobre el tema mitosis
 - No entiendo el tema mitosis
- 5) Creo que hoy aprendí cuando (puedes marcar varias opciones si deseas):
 - Ví el video al principio de la clase
 - Cuando hicimos el guión
 - Cuando creamos las escenas
 - Cuando editamos el video
 - Cuando vimos los videos de los compañeros
 - Resolviendo estas preguntas
- 6) Explica brevemente qué ocurre en la mitosis
- 7) ¿Qué te parece que se podría mejorar de la experiencia que te propusimos?
- 8) Otros comentarios que quieras hacernos