

PIXEL BIT

Nº 62 SEPTIEMBRE 2021
CUATRIMESTRAL

e-ISSN:2171-7966I

SSN:1133-8482

Revista de Medios y Educación

In Memoriam
Dr. Ángel Pío González Soto





PIXEL-BIT

REVISTA DE MEDIOS Y EDUCACIÓN

Nº 62 - SEPTIEMBRE - 2021

<https://revistapixelbit.com>



EDITORIAL
UNIVERSIDAD DE SEVILLA

EQUIPO EDITORIAL (EDITORIAL BOARD)

EDITOR JEFE (EDITOR IN CHIEF)

Dr. Julio Cabero Almenara, Departamento de Didáctica y Organización Educativa, Facultad de CC de la Educación, Director del Grupo de Investigación Didáctica. Universidad de Sevilla (España).

EDITOR ADJUNTO (ASSISTANT EDITOR)

Dr. Juan Jesús Gutiérrez Castillo, Departamento de Didáctica y Organización Educativa. Facultad de CC de la Educación, Universidad de Sevilla (España).

Dr. Óscar M. Gallego Pérez, Grupo de Investigación Didáctica, Universidad de Sevilla (España)

CONSEJO DE REDACCIÓN

EDITOR

Dr. Julio Cabero Almenara. Grupo de Investigación Didáctica, Universidad de Sevilla (España)

EDITOR ASISTENTE

Dr. Juan Jesús Gutiérrez Catillo. Departamento de Didáctica y Organización Educativa. Facultad de CC de la Educación, Universidad de Sevilla. (España)

Dr. Óscar M. Gallego Pérez. Grupo de Investigación Didáctica Universidad de Sevilla (España)

EDITORES ASOCIADOS

Dra. Urtza Garay Ruiz, Universidad del País Vasco. (España)

Dra. Ivanovvna Milqueya Cruz Pichardo, Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra. (República Dominicana)

VOCALES

Dra. María Puig Gutiérrez, Universidad de Sevilla. (España)

Dra. Sandra Martínez Pérez, Universidad de Barcelona (España)

Dr. Selín Carrasco, Universidad de La Punta (Argentina)

Dr. Jackson Collares, Universidades Federal do Amazonas (Brasil)

Dra. Kitty Gaona, Universidad Autónoma de Asunción (Paraguay)

Dra. Elvira Esther Navas, Universidad Metropolitana de Venezuela (Venezuela)

Dr. Angel Puentes Puente, Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra. Santo Domingo (República Dominicana)

Dr. Fabrizio Manuel Sirignano, Università degli Studi Suor Orsola Benincasa (Italia)

CONSEJO TÉCNICO

Edición, maquetación: Manuel Serrano Hidalgo, Grupo de Investigación Didáctica, Universidad de Sevilla (España)

Dra. Raquel Barragán Sánchez, Grupo de Investigación Didáctica, Universidad de Sevilla (España)

Antonio Palacios Rodríguez, Grupo de Investigación Didáctica, Universidad de Sevilla (España)

Diseño de portada: Lucía Terrones García, Universidad de Sevilla (España)

Revisor/corrector de textos en inglés: Rubicelia Valencia Ortiz, MacMillan Education (México)

Revisores metodológicos: evaluadores asignados a cada artículo

Responsable de redes sociales: Manuel Serrano Hidalgo, Grupo de Investigación Didáctica, Universidad de Sevilla (España)

CONSEJO CIENTÍFICO

Jordi Adell Segura, Universidad Jaume I Castellón (España)

Ignacio Aguaded Gómez, Universidad de Huelva (España)

María Victoria Aguiar Perera, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (España)

Olga María Alegre de la Rosa, Universidad de la Laguna Tenerife (España)

Manuel Área Moreira, Universidad de la Laguna Tenerife (España)

Patricia Ávila Muñoz, Instituto Latinoamericano de Comunicación Educativa (México)

Antonio Bartolomé Pina, Universidad de Barcelona (España)

Angel Manuel Bautista Valencia, Universidad Central de Panamá (Panamá)

Jos Beishuizen, Vrije Universiteit Amsterdam (Holanda)
 Florentino Blázquez Entonado, Universidad de Extremadura (España)
 Silvana Calaprice, Università degli studi di Bari (Italia)
 Selín Carrasco, Universidad de La Punta (Argentina)
 Raimundo Carrasco Soto, Universidad de Durango (México)
 Rafael Castañeda Barrena, Universidad de Sevilla (España)
 Zulma Cataldi, Universidad de Buenos Aires (Argentina)
 Manuel Cebrián de la Serna, Universidad de Málaga (España)
 Luciano Cecconi, Università degli Studi di Modena (Italia)
 Jean-François Cerisier, Université de Poitiers, Francia
 Jordi Lluís Coiduras Rodríguez, Universidad de Lleida (España)
 Jackson Collares, Universidades Federal do Amazonas (Brasil)
 Enricomaria Corbi, Università degli Studi Suor Orsola Benincasa (Italia)
 Marialaura Cunzio, Università degli Studi Suor Orsola Benincasa (Italia)
 Brigitte Denis, Université de Liège (Bélgica)
 Floriana Falcinelli, Università degli Studi di Perugia (Italia)
 María Cecilia Fonseca Sardi, Universidad Metropolitana de Venezuela (Venezuela)
 Maribel Santos Miranda Pinto, Universidade do Minho (Portugal)
 Kitty Gaona, Universidad Autónoma de Asunción (Paraguay)
 María-Jesús Gallego-Arrufat, Universidad de Granada (España)
 Lorenzo García Aretio, UNED (España)
 Ana García-Valcarcel Muñoz-Repiso, Universidad de Salamanca (España)
 Antonio Bautista García-Vera, Universidad Complutense de Madrid (España)
 José Manuel Gómez y Méndez, Universidad de Sevilla (España)
 Mercedes González Sanmamed, Universidad de La Coruña (España)
 Manuel González-Sicilia Llamas, Universidad Católica San Antonio-Murcia (España)
 Antón José Meneses Osório, Universidade do Minho (Portugal)
 Carol Halal Orfali, Universidad Tecnológica de Chile INACAP (Chile)
 Mauricio Hernández Ramírez, Universidad Autónoma de Tamaulipas (México)
 Ana Landeta Etxeberria, Universidad a Distancia de Madrid (UDIMA)
 Linda Lavelle, Plymouth Institute of Education (Inglaterra)
 Fernando Leal Ríos, Universidad Autónoma de Tamaulipas (México)
 Paul Leffere, Cca (UK)
 Carlos Marcelo García, Universidad de Sevilla (España)
 Francois Marchessou, Universidad de Poitiers, París (Francia)
 Francesca Marone, Università degli Studi di Napoli Federico II (Italia)
 Francisco Martínez Sánchez, Universidad de Murcia (España)
 Ivory de Lourdes Mogollón de Lugo, Universidad Central de Venezuela (Venezuela)
 Angela Muschitelli, Università degli studi di Bari (Italia)
 Margherita Musello, Università degli Studi Suor Orsola Benincasa (Italia)
 Elvira Esther Navas, Universidad Metropolitana de Venezuela (Venezuela)
 Trinidad Núñez Domínguez, Universidad de Sevilla (España)
 James O'Higgins, de la Universidad de Dublín (UK)
 José Antonio Ortega Carrillo, Universidad de Granada (España)
 Gabriela Padilla, Universidad Autónoma de Tamaulipas (México)
 Ramón Pérez Pérez, Universidad de Oviedo (España)
 Angel Puentes Puente, Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra. Santo Domingo (República Dominicana)
 Julio Manuel Barroso Osuna, Universidad de Sevilla (España)
 Rosalía Romero Tena, Universidad de Sevilla (España)
 Hommy Rosario, Universidad de Carabobo (Venezuela)
 Pier Giuseppe Rossi, Università di Macerata (Italia)
 Jesús Salinas Ibáñez, Universidad Islas Baleares (España)
 Yamile Sandoval Romero, Universidad de Santiago de Cali (Colombia)
 Albert Sangrà Morer, Universidad Oberta de Catalunya (España)
 Ángel Sanmartín Alonso, Universidad de Valencia (España)
 Horacio Santángelo, Universidad Tecnológica Nacional (Argentina)
 Francisco Solá Cabrera, Universidad de Sevilla (España)
 Jan Frick, Stavanger University (Noruega)
 Karl Steffens, Universidad de Colonia (Alemania)
 Seppo Tella, Helsinki University (Finlandia)
 Hanne Wacher Kjaergaard, Aarhus University (Dinamarca)



FACTOR DE IMPACTO (IMPACT FACTOR)

SCOPUS (CiteScore Tracker 2021: 2.8) - Journal Citation Indicator (JCI). Posición 400 de 722 revistas
Puntuación: 44.67 (Q3) - FECYT: Ciencias de la Educación. Cuartil 2. Posición 16. Puntuación: 39,80-
DIALNET MÉTRICAS (Factor impacto 2019: 1,355. Q1 Educación. Posición 11 de 230) - REDIB
Calificación Glogal: 29,102 (71/1.119) Percentil del Factor de Impacto Normalizado: 95,455- ERIH PLUS
- Clasificación CIRC: B- Categoría ANEP: B - CARHUS (+2018): B - MIAR (ICDS 2020): 9,9 - Google
Scholar (global): h5: 42; Mediana: 42 - Journal Scholar Metric Q2 Educación. Actualización 2016 Posición:
405ª de 1,115- Criterios ANECA: 20 de 21 - INDEX COPERNICUS Puntuación ICV 2019: 95.10

Píxel-Bit, Revista de Medios y Educación está indexada entre otras bases en: SCOPUS, Fecyt, Iresie, ISOC (CSIC/CINDOC), DICE, MIAR, IN-RECS, RESH, Ulrich's Periodicals, Catálogo Latindex, Biné-EDUSOL, Dialnet, Redinet, OEI, DOCE, Scribd, Redalyc, Red Iberoamericana de Revistas de Comunicación y Cultura, Gage Cengage Learning, Centro de Documentación del Observatorio de la Infancia en Andalucía. Además de estar presente en portales especializados, Buscadores Científicos y Catálogos de Bibliotecas de reconocido prestigio, y pendiente de evaluación en otras bases de datos.

EDITA (PUBLISHED BY)

Grupo de Investigación Didáctica (HUM-390). Universidad de Sevilla (España). Facultad de Ciencias de la Educación. Departamento de Didáctica y Organización Educativa. C/ Pirotecnia s/n, 41013 Sevilla.
Dirección de correo electrónico: revistapixelbit@us.es . URL: <https://revistapixelbit.com/>
ISSN: 1133-8482; e-ISSN: 2171-7966; Depósito Legal: SE-1725-02
Formato de la revista: 16,5 x 23,0 cm

Los recursos incluidos en Píxel Bit están sujetos a una licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 Unported (Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual)(CC BY-NC-SA 4.0), en consecuencia, las acciones, productos y utilidades derivadas de su utilización no podrán generar ningún tipo de lucro y la obra generada sólo podrá distribuirse bajo esta misma licencia. En las obras derivadas deberá, asimismo, hacerse referencia expresa a la fuente y al autor del recurso utilizado.

©2021 Píxel-Bit. No está permitida la reproducción total o parcial por ningún medio de la versión impresa de la Revista Píxel- Bit.

- 1.- Niveles de representación externa de estudiantes de educación secundaria acerca de la división celular mitótica: una experiencia con realidad aumentada // High school student representations of mitotic cell division: an augmented reality experience. (Bilingüe)** **7**
Francisco J. López-Cortés, Eduardo Ravanal Moreno, Claudio Palma Rojas, Cristián Merino Rubilar
- 2.- Satisfacción del profesorado con la formación en servicio online: aproximaciones desde la usabilidad pedagógica // Teachers' satisfaction with in-service online training from the viewpoint of pedagogic usability (Bilingüe)** **39**
Osbaldo Turpo-Gebera, Alejandra Hurtado-Mazeyra, Yvan Delgado-Sarmiento, Gerber Pérez-Postigo
- 3.- Evaluación de la competencia oral con rúbricas digitales para el Espacio Iberoamericano del Conocimiento // Assessment oral competence with digital rubrics for the Ibero-American Knowledge Space (Bilingüe)** **71**
Carlos Rafael Fernández Medina, Cristina Raquel Luque Guerrero, Francisco José Ruiz Rey, Diana Elizabeth Rivera Rojel, Lucy Deyanira Andrade Vargas, Manuel Cebrián de la Serna
- 4.-Agente conversacional virtual: la inteligencia artificial para el aprendizaje autónomo // Embodied conversational agents: artificial intelligence for autonomous learning. (Bilingüe)** **107**
Josué Artilles Rodríguez, Mónica Guerra Santana, M^a Victoria Aguiar Perera, Josefa Rodríguez Pulido
- 5.- Gamificación superficial en e-learning: evidencias sobre motivación y autorregulación // La transición a la enseñanza en línea llevada a cabo por los docentes de América Latina y el Caribe durante la pandemia de COVID-19: desafíos, cambios y lecciones aprendidas. (Bilingüe)** **146**
Olga Juan-Lázaro, Manuel Area-Moreira
- 6.- Análisis de Género del Cine de Animación Infantil como Recurso para una Escuela Coeducativa // A Gender Perspective in Analyzing Film Production for Children as a Source for Coeducation. (Bilingüe)** **183**
Tarxilia Heras Peinado, Rosario Mérida Serrano
- 7.- Competencia digital docente en educación de adultos: un estudio en un contexto español // Digital competence in adult education: a study in a Spanish context. (Bilingüe)** **209**
Esther Garzón Artacho, Tomás Sola Martínez, Juan Manuel Trujillo Torres, Antonio Manuel Rodríguez García
- 8.- Percepción docente del uso de TIC en la Educación Inclusiva // Teacher perception on the use of ICT in Inclusive Education. (Bilingüe)** **235**
Esther Vega-Gea, Juan Calmaestra, Rosario Ortega-Ruiz
- 9.- Evaluating Eye Tracking Technology for Assessment of Students with Profound and Multiple Learning Difficulties // Evaluación de la tecnología de seguimiento ocular para la evaluación de estudiantes con dificultades de aprendizaje múltiples y profundas. (Bilingüe)** **269**
Rayjvir Grill, Sarah Younie Younie
- 10.- Coding, robotics and socio-emotional learning: developing a palette of virtues // Codificación, robótica y aprendizaje socioemocional: cómo desarrollar una combinación de habilidades (Bilingüe)** **309**
Marina U. Bers

Niveles de representación externa de estudiantes de educación secundaria acerca de la división celular mitótica: una experiencia con realidad aumentada

Secondary education students' levels of external representation of mitotic cellular division: An augmented reality-based experience



Mg. Francisco López-Cortés

Profesor Asistente de Universidad. Universidad de La Serena. Chile



Dr. Eduardo Ravanal Moreno

Profesor Asistente de Universidad. Universidad Alberto Hurtado. Chile



Mg. Claudio Palmas-Rojas

Profesor Asociado de Universidad. Universidad de La Serena. Chile



Dr. Cristian Merino Rubilar

Profesor Adjunto de Universidad. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Chile

Recibido: 2020/10/18; **Revisado:** 2020/11/09; **Aceptado:** 2021/03/15; **Preprint:** 2021/04/22; **Publicado:** 2021/09/01

RESUMEN

El artículo presenta una secuencia de enseñanza y aprendizaje sobre la división celular mitótica para estudiantes de educación secundaria, la cual contiene como apoyo tecnológico una aplicación móvil de realidad aumentada (RA). El objetivo fue promover la visualización del proceso de la división mitótica y con ello promover explicaciones más robustas y complejas evaluadas mediante una clave de niveles de representaciones externas. Las actividades propuestas tuvieron por objeto que los participantes fueran capaces de describir, relacionar, explicar e interpretar las diferentes fases de la división celular mitótica. La metodología correspondió a un diseño pre-experimental. Los datos recolectados (n= 162) corresponden a las producciones de los estudiantes (dibujos), que forman parte de las actividades de la secuencia, los cuales fueron comparados con una matriz de niveles de representación. Los resultados indican que, las producciones elaboradas por los participantes transitan desde representaciones iniciales que se corresponden con una descripción icónica del proceso hacia representaciones que contienen una mayor carga semántica y semiótica.

ABSTRACT

This article reports on the implementation of a teaching and learning sequence on mitotic cell division for secondary education students that uses as technological aid an augmented reality (AR) mobile application. The objective was to promote the visualization of the mitotic division process and thereby promote more robust and sophisticated explanations as evaluated using a representation level key. The proposed activities were intended for the participants to be able to describe, relate, explain, and interpret the different phases of mitotic cell division. The methodology is based on a pre-experimental design. The data collected (n= 162) correspond to the students' productions (drawings), which are part of the activities of the sequence, which are compared with a matrix of representation levels. The results suggest that, throughout the sequence, the productions made by the participants transition from initial representations consisting in an iconic description of the process to representations containing a higher semantic and semiotic load.

PALABRAS CLAVES · KEYWORDS

Enseñanza de las Ciencias; Biología celular; Tecnologías de la Información y la Comunicación; Desarrollo de capacidades
Science Teaching; Cell biology; Technology of the information and communication; Capacity building



1. Introducción

Enseñar biología en el ámbito escolar contribuye a que los estudiantes logren interpretar y resignificar fenómenos cotidianos y reconstruir “en su cabeza” un modelo que les permita explicar, predecir, como también favorecer pensamientos y lenguajes para decidir qué hacer y no hacer, frente a una situación importante para él o en una situación cotidiana en contexto (Winterbottom, 2017). Así, aprender biología también implica diseñar, construir, modificar y poner a prueba modelos acerca del mundo a través del lenguaje y la experiencia (Guidoni, 1985; Lemke, 1997; Izquierdo, 2007). En ese plano, los modelos mentales constituyen la representación de un fragmento del entorno, fragmentación que es vista como la generación de un conjunto de modelos que permiten comprender situaciones cotidianas significativas de un entorno particular (Gilbert & Justi, 2016), implicando el pensamiento de los estudiantes y la promoción de acciones mentales como proceso de modelamiento (Justi, 2006). Adscribir a este enfoque, obliga una atención cuidadosa sobre las representaciones externas usadas en la enseñanza de la biología y su incidencia en la construcción de representaciones internas, producto del proceso de visualización (Gilbert, 2005). En consecuencia, la enseñanza de la Biología debe reconocer la naturaleza ontológica de la disciplina como los procesos físico-químicos que acompañan y que se desarrollan bajo ciertas condiciones espacio-temporales (Spinelli et al., 2016). Esto significa que, no es suficiente hacer un esquema en la pizarra que muestre una célula en metafase mitótica y obviar la condición espacial y temporal en que esta ocurre, por ello, aumentar la oferta de representaciones externas de los procesos, enriquece las representaciones internas existentes o la construcción de otras nuevas (Eilam, 2013). Así, al describir los procesos biológicos como unidades dinámicas, se promueve el tránsito cognitivo desde niveles de representación macroscópicos a simbólicos y viceversa, necesarios para hacer de las situaciones del entorno un modelo mental “útil”.

Para Gilbert y Justi (2016), el diseño, creación, uso, prueba y comunicación de modelos, implica visualizar. Esta capacidad, incluye las representaciones “internas” o mentales y las “externas” o públicas. Estas últimas, relevantes en la educación científica al favorecer el aprendizaje de ciertas ideas, además de, constituirse en formas de expresar el pensamiento de quienes aprenden. En esta perspectiva, la modelización a través de la visualización, debiera permitir al estudiantado “transitar” por distintos niveles de representación de una situación o fenómeno a modelizar, contribuyendo al desarrollo del pensamiento científico en el contexto escolar. En adición, hacer de la visualización una herramienta cognitiva que ayude a situar los fenómenos o situaciones a modelizar, considerando su escala espacio-temporal. Generar un ambiente que inste a los estudiantes a acceder esos conocimientos, brinda posibilidades de tránsitos cognitivos por los distintos niveles de una representación (Kozma & Russell, 2005), favoreciendo el aprendizaje con sentido en la construcción de modelos descriptivos e interpretativos acerca de los fenómenos modelizados, es decir, alcanzar aprendizajes profundos. Sobre la base de lo expuesto, la presente investigación busca explorar los niveles de representación externa de estudiantes de secundaria acerca de la división celular mitótica al trabajar con una secuencia que promueve la capacidad de visualización a través del uso de tecnología de realidad aumentada.

1.1. La visualización y la enseñanza de fenómenos complejos en ciencias

Promover y desarrollar la visualización es trascendental en ciencia, porque esta busca construir explicaciones causales de los fenómenos a través de las experiencias de cómo es

el mundo, especialmente una porción de él que no necesariamente es visible al ojo humano (Jones et al., 2011; Mathai & Ramadas 2009; Rundgren et al., 2012). Su desarrollo es muy importante para el aprendizaje de las ciencias, ya que: a) se proporcionan explicaciones perfectibles de fenómenos naturales; y, b) describe las causas que llevan a los efectos particulares en que científicos y científicas están interesados. Para su aprendizaje, los estudiantes deben comprender diferentes representaciones de conceptos y procesos científicos, y ser capaces de trasladarlos de una forma de representación a otra (Ainsworth, 1999). Esto requiere comprender y trasladarse entre distintos modos de representación en un continuo de incremento y abstracción que va desde objetos concretos al lenguaje (Tsui & Treagust, 2013). Deben comprender además, los aspectos característicos de los niveles de representación macroscópico, microscópico, sub-microscópico y simbólico que les permitan trasladarse mentalmente entre ellos (Tsui & Treagust, 2013). Esta habilidad es necesaria para la plena apreciación y generación de las explicaciones científicas de los fenómenos naturales.

La visualización desempeña un papel importante en la formación científica y se argumenta que los estudiantes para aprender ciencias deben desarrollar una capacidad de visualización (Brooks, 2009). Gilbert y Justi (2016) proponen que la visualización está relacionada con la formación de una representación interna a partir de una representación externa, de modo que se retiene la esencia y las relaciones espacio temporales características de la representación externa. Como la visualización se realiza sobre la base de un modelo, se presenta un problema epistemológico y ontológico, dado que los “modelos” son colocados en el espacio público (libros de texto, videos, tv, otros) a través de una serie de modos de representación (Gilbert, 2005).

Se acepta ampliamente que un modelo es “una representación de una idea, objeto, evento, proceso o sistema, creado con un objetivo específico” (Justi, 2006). De alguna manera, esta representación abstrae y traduce la entidad modelada no solo a partir de percepciones directas, sino también de ideas anteriores. Entonces, en la actividad científica, imaginar implica modelar. El proceso de modelamiento también significa cambiar las formas de hablar sobre los fenómenos y el modelo generado, es decir, se puede pensar con y en ellos, comunicar, discutir e intervenir el mundo (Galindo, 2009). Inicialmente, las palabras o dibujos utilizados para describir un fenómeno o alguna interpretación provienen del lenguaje cotidiano y de analogías relacionadas con situaciones o explicaciones que ya se conocen (Renström et al., 1990; Selley, 2000). Si la visualización es un aspecto importante, entonces no poseer esta competencia tendría graves consecuencias para las oportunidades de aprendizaje (Merino & García, 2019; Munford & Teles, 2015). Si bien, existen algunos estudios sobre las consecuencias de la ausencia de esta capacidad en menores, parece probable que problemas similares enfrentan también estudiantes de secundaria en áreas de biología, química y física. Yu y colaboradores (2009) identifican varios problemas en química, siendo los más significativos: a) dificultades para representar en los niveles sub-micro y simbólicos un fenómeno previo, representado a nivel macroscópico (Órdenes et al., 2014) y b) en particular, se encuentran con dificultades para interpretar en el nivel sub-micro una reacción representada en el plano simbólico (Krajcik et al., 1988). Por tanto, sin una capacidad de visualización, los estudiantes encuentran grandes dificultades para poder llevar a cabo tareas exigentes en la clase de ciencias. En biología, un modelo se puede representar en niveles macro, micro, sub-micro y simbólico, y cada nivel puede ser expresado en representaciones externas. Dotar de sentidos para cualquiera de estas representaciones es la “visualización”, y en ella tanto las representaciones externas de tales

modelos como las internas que se forman de ellos, están en el centro de convertirlos en conocimiento (Gilbert, 2008).

Desde esta perspectiva y siguiendo la extensa literatura de John Gilbert y colaboradores (Gilbert & Justi, 2016; Gilbert & Boulter, 1998; Gilbert et al., 1998a, b) el estudiante que es capaz de demostrar la adquisición de esta capacidad de visualización cuando:

- Demuestra comprensión sobre las convenciones existentes para representar todos los modos (macro, micro y simbólico) y submodos (3D, 2D, 1D). Es decir, lo que pueden y no pueden representar.
- Traducen un modelo dado entre los modos y submodos en los que puede representarse.
- Construyen una presentación dentro de cualquier modo y submodo de dimensionalidad para un propósito dado.
- Resuelven un problema novedoso utilizando un enfoque basado en modelos. Esto puede hacerse dibujando una analogía adecuada a un problema ya resuelto (Polya, 1957, p. 27), o bien proporcionando una señal de recuerdo visual y dejando fuera información irrelevante de la percepción del problema (Beveridge & Parkins, 1987, p. 235).

Para traducir lo anterior en desempeños observables, en este estudio utilizamos la idea de “esquema de progresión” en la “competencia de representación” de Kozma y Russell (2005) en clave de niveles de representación, que son específicas a cada noción científica, en nuestro caso, la división celular mitótica (Tabla 1). A partir de estos niveles, los autores, sugieren oportunidades educativas y retroalimentaciones que podrían proporcionarse a cada estudiante en virtud de sus producciones.

1.2. Tecnologías inmersivas para la favorecer la visualización en la clase de ciencias

La literatura en el ámbito de promover en nuestros estudiantes explicaciones de fenómenos biológicos más robustas y complejas, sugiere el uso explícito de recursos multimedia tantos como sea posible en la enseñanza, con el argumento que acceder a la información simultáneamente, tanto en forma verbal como visual, aumenta la probabilidad de un aprendizaje efectivo (Mayer, 1997). Los informes Horizon Report del 2004 al 2019 (Madden, 2011; Alexander et al., 2019), identifican y describen las tecnologías que tendrán un impacto significativo en la educación los próximos 20 años, entre ellas la realidad aumentada (RA), como una tecnología inmersiva que permite combinar los objetos del mundo real con objetos virtuales, coexistiendo en el mismo espacio como en el mundo real (Azuma et al., 2001).

Esta tecnología en los años noventa fue usada en el entrenamiento de pilotos de aviones y una década después, asociado principalmente a la mejora en las capacidades y funcionalidad de los dispositivos móviles (Garzón et al., 2019), su uso se ha extendido a la industria, entrenamiento, manufactura, turismo y negocios (Akçayır & Akçayır, 2017). Algunas revisiones de estudios sobre el uso de la RA, dan cuenta de sus bondades, limitaciones y su potencial educativo, así como de sus desafíos y condicionantes (Arici et al., 2019; Garzón et al., 2019; Akçayır & Akçayır 2017; Cabero et al., 2019; Pedaste et al., 2020). Así y por todas sus potencialidades para el aprendizaje, la RA comienza a permear

el ámbito educativo, principalmente en medicina, geografía, literatura, matemáticas, aunque con un bajo número de investigaciones en el área de las ciencias (Arici et al., 2019). En el caso de la Biología, podemos encontrar los desarrollos más auspiciosos como recursos para el aprendizaje en educación médica (Tang et al., 2020), ciencias ambientales, ecología y conservación, genética, biología celular y molecular, con una cobertura que se extiende a todos los niveles educativos (Garzón et al., 2019), aunque la mayor parte de estos trabajos se han hecho sin la ayuda de una teoría de aprendizaje cognitiva, epistemológica o social para predecir y explicar los resultados. La integración de esta tecnología al diseño de secuencias para promover la visualización es un desafío y una oportunidad (Merino et al., 2015) que permitiría al estudiante apoyarse con contenidos altamente interactivos, beneficiarse de la relación que tienen los objetos del espacio que los rodea con los conceptos aprendidos y adquirir destrezas para interpretar el conocimiento con experiencias y la experimentación en el mundo real (Fabri et al., 2008). En este sentido Barroso-Osuna et al. (2018) señalan que algunas limitaciones al uso de esta tecnología es que: i) hay más propuestas tecnológicas que prácticas educativas de su incorporación; ii) la novedad está llevando a una falta de reflexión teórica, en especial dar respuesta a preguntas epistémicas centrales: qué enseñar y en especial por qué enseñar y iii) faltan materiales educativos adecuados al currículo. Es así como el uso de realidad aumentada en escenarios educativos sigue siendo un área abierta de investigación.

2. Metodología

El estudio adscribe al paradigma de investigación cuantitativo de diseño pre-experimental, con una evaluación de pre y posttest de las representaciones de los estudiantes sobre el fenómeno mitótico. El estudio plantea dos objetivos, que son:

- a) Evaluar las representaciones de los estudiantes acerca del fenómeno mitótico mediante el análisis de explicaciones sobre una situación cotidiana (cicatrización de una herida).
- b) Detectar cambios en los niveles de representación del estudiantado que participa del estudio cuando trabajan con una secuencia que promueve la capacidad de visualización a través del uso de realidad aumentada.

De los objetivos se desprende nuestra hipótesis de trabajo, en la cual planteamos que con posterioridad a su participación en una clase de visualización por medio de realidad aumentada y respecto de su nivel de representación previo, los estudiantes no presentan diferencias significativas en cuanto a nivel de representación de la División Celular Mitótica.

2.1. Muestra

A través de un muestreo no probabilístico intencional se logró trabajar con 262 estudiantes de segundo año de educación secundaria de dos establecimientos educacionales públicos de la comuna de La Serena en Chile. El grupo total de estudiantes

estuvo compuesto por 103 hombres y 159 mujeres, con una edad promedio de 15,8 ($\pm 0,75$ años) y mediana de 16 años. El contenido curricular disciplinar que cursaban fue, división celular mitótica.

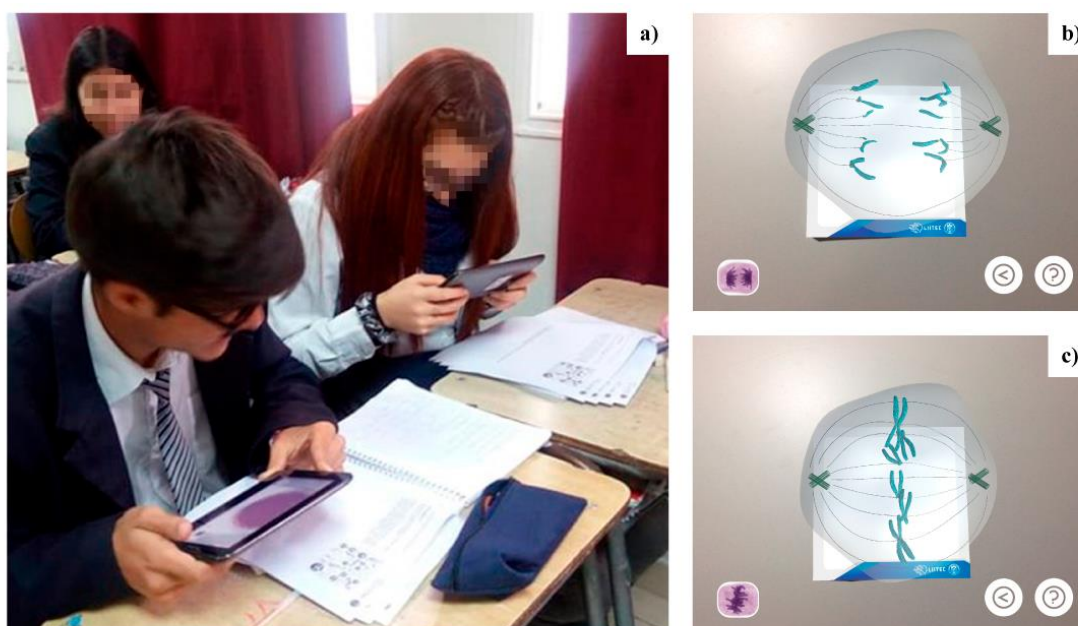
2.2. Descripción del recurso

Se diseñó una secuencia de enseñanza y aprendizaje (SEA) apoyada con tecnología de realidad aumentada. La SEA fue construida bajo la perspectiva del ciclo socio-constructivista propuesto por Jorba y Sanmartí (1996), que considera el aprendizaje de la ciencia como la construcción y modificación de representaciones a través del lenguaje (e.g., verbal, icónico) y la experiencia. La aplicación móvil (App) fue “División Mitótica 3D©” desarrollada por LIITEC-ULS (liitec.userena.cl/rte), disponible para descarga gratuita en PlayStore y AppStore. La App permite a sus usuarios indagar acerca de la división celular, manipulando ampliamente la representación externa del fenómeno (Figura 1) con el objeto de favorecer su abstracción y extensión, es decir, detectar y extraer información relevante para realizar generalizaciones a partir de ciertas representaciones (Tsui & Treagust, 2013).

Para su uso en la clase con apoyo de la App esta fue preinstalada en tablets Samsung Galaxy A2016 TM (10,1”; SO Android v9), que fueron entregadas a cada estudiante al inicio de la clase, junto con la Secuencia de Enseñanza y Aprendizaje impresa (Figura 1a). Una vez que la cámara de la Tablet apunta al marcador, aparece en la pantalla un modelo 3D que se puede rotar, hacer zoom y además en el vértice inferior izquierdo aparece una fotomicrografía de la etapa correspondiente (Figura 1b y 1c) de la división celular mitótica: profase, metafase, anafase, telofase, incluyéndose además la citocinesis e interfase. Semanas antes de la implementación se trabajó con los profesores para el uso de la App y durante la implementación se contó con el acompañamiento de personal de tecnología del establecimiento para resolver cualquier problema técnico en el uso de ésta.

Figura 1

La fase de a) implementación en aula y modelos 3D de b) anafase y c) metafase mitótica



Nota. Elaboración propia.

2.3. Instrumento de recogida de datos

Para comparar el nivel de las representaciones de los estudiantes sobre la división celular mitótica, se diseñó un instrumento que fue utilizado como pretest y postest, con el siguiente enunciado e imagen (Figura 2).

Figura 2

Enunciado usado en el pretest y postest

Si has sufrido alguna vez una herida, como la que se muestra en la imagen, puedes recordar que transcurrido un tiempo la herida no permanece, sino que finalmente sana. Imagina ahora que debes explicar con un dibujo como crees que sanó esa herida ¿Cuál sería tú explicación?



El enunciado usado, permite recuperar alguna vivencia o experiencia de los estudiantes en torno a la cicatrización de heridas. Asunto que favorece la construcción de representaciones internas plausibles de ser expresadas. El instrumento fue usado en dos momentos. El primero, se aplicó a los estudiantes luego del cierre de una clase sin usar la App de realidad aumentada (pretest). El segundo, se aplicó al cierre de una clase en que los estudiantes utilizaron la secuencia con la aplicación móvil (postest).

2.4. Procedimiento de análisis de la información

El instrumento para evaluar el nivel de representaciones del pretest y postest fue una rúbrica adaptada de Kozma y Rusell (2005). En ella se reconocen cinco niveles de representación y una descripción operacional de cada una (Tabla 1). El instrumento se ajustó al objeto de enseñanza -división celular mitótica- y fue validado mediante metodología de pares de expertos (Robles Garrote & Rojas, 2015). El procedimiento para asignar el nivel de representación implicó dos observadores, quienes usaron la rúbrica para analizar las repuestas (dibujos) de los estudiantes del pretest y postest. Del total de 262 participantes, se seleccionaron solo los dibujos de aquellos participantes que completaron el pretest y el postest, con lo cual la muestra se redujo a 162 pares de casos válidos (61,8 %). Se excluyeron 100 participantes debido a la ausencia de respuestas en el pretest (n= 38), postest (n= 40) o en ambos (n= 22).

Tabla 1

Resumen de los niveles de representación

Niveles	Descripción	Desempeño
1	Representación como una descripción. Cuando se le solicita representar un fenómeno físico, la persona genera representaciones basadas solo	El estudiante explica el proceso de sanación de la herida, dibujando el corte de la herida abierto y luego cerrado en un nivel macroscópico. Puede haber alusión a la cicatrización. A la vez, el estudiante es capaz de dibujar el contorno de una célula o más células a nivel microscópico, sin

	en sus características físicas. Es decir, la representación es un isomorfo, una descripción icónica del fenómeno en un punto determinado en el tiempo.	considerar contenido celular, sugiere división y aparecen numerosas células circulares.
2	Capacidades simbólicas primitivas. El estudiante puede estar familiarizado con un sistema de representación formal, pero su uso no es más que una lectura literal de las características de la superficie de representación, sin tener en cuenta la sintaxis y la semántica.	A nivel micro y simbólico (capacidades simbólicas primitivas), el estudiante es capaz de dibujar el contorno de una célula que origina a células derivadas, incluye flechas para indicar célula madre y células hijas o algún tipo de representación simbólica del proceso. Puede aparecer la idea de movimiento, contorsiones, estrangulamiento, de una estructura que crece y se divide.
3	Uso sintáctico de representaciones formales. El estudiante es capaz hacer conexiones a través de dos representaciones diferentes de un mismo fenómeno, basadas únicamente en las reglas sintácticas o características superficiales compartidas, en lugar del significado subyacente de las diferentes representaciones y sus características compartidas.	El estudiante da cuenta de una representación formal de las células, utilizando un modelo de células más complejo (más que contornos), lo que incluye interior y contenido celular característico del proceso divisional (huso, centríolos, núcleo, cromatina, cromosomas, hilos condensados o descondensados). Hay una mayor especificidad y un modelo más complejo de célula (con núcleo o material nuclear). En lo simbólico se representa que la herida tiene como efecto la reproducción celular. La herida es el estímulo y la reproducción es el resultado estableciendo correlacionalidad, aunque no necesariamente se puede explicar la razón subyacente por la cual se reproducen. En lo sintáctico, refiere a la expresión de causalidad, es decir, ante un estímulo las células se dividen.
4	Uso semántico de representaciones formales. El estudiante puede proporcionar un significado común subyacente para varios tipos de representaciones superficialmente diferentes y transformar cualquier representación dada en una representación equivalente en otra forma. El estudiante utiliza de forma espontánea representaciones para explicar un fenómeno, resolver un problema, o hacer una predicción.	Establece relaciones causales entre la herida y la reproducción, se reconoce el estímulo subyacente por el cual se inicia la reproducción. Se evidencia una comprensión que el cambio en la densidad o distancia de las células es el estímulo. Se evidencia que el corte es el estímulo, hay una relación espacio-temporal (hay una idea de lo que sucede antes, durante y después del corte). Se evidencia la pérdida de células producto de la herida, las cuales son reemplazadas por células nuevas, explicando así la cicatrización como un proceso. Se observa una representación más acabada del proceso de división celular, mostrando presencia y ausencia de envoltura nuclear y cromosomas que se reparten o migran hacia los polos celulares.
5	Uso reflexivo. El estudiante puede usar las características específicas de la representación para justificar las problemáticas dentro de un contexto social y retórico. Él o ella puede seleccionar o construir la representación más adecuada para una situación particular y	Se observa un tránsito del nivel macro al micro y viceversa. Hay abstracción. Hay transferencia, sirve para pensar en otros fenómenos equivalentes conocidos más allá de la herida de la mano (otras circunstancias, otros seres vivos). Se da cuenta de otras situaciones donde se puede aplicar el mismo proceso que explica la cicatrización (división celular). De esta manera, el mismo proceso permite explicar cómo se sana una herida, permitiría también explicar el

explicar por qué la crecimiento de los seres vivos y su capacidad para reparar
representación es más sus tejidos.
apropiada que otra.

Nota. Tomado y adaptado de Kozma y Rusell (2005)

2.5. Técnicas de análisis de la información

Para la codificación y análisis de la información se consideraron los 162 pares de dibujos válidos.

2.5.1 Pre y posttest

Para la asignación del nivel de representación cada observador recibió una breve asistencia para comprender y usar la rúbrica diseñada. Posteriormente, cada observador, por separado, asignó a los 162 pares de dibujos un nivel de representación. Finalmente, para garantizar validez en el procedimiento de asignación de niveles de representación, se aplicó el índice de concordancia de Kappa de Cohen considerando 6 niveles de fuerza de concordancia: *pobre, leve, aceptable, moderada, considerable y casi perfecta* (Taber, 2018). La validación de códigos asignados por los observadores mostró un valor de $k = 0,822$ para el pretest y de $k = 0,756$ para el posttest, con una fuerza de concordancia “casi perfecta” y “considerable”, respectivamente. El valor explicado por el azar es de 20% aproximado para cada caso. Para establecer diferencias entre los niveles obtenidos en el pre y posttest se utilizó la prueba de Wilcoxon corregida por continuidad y estimación del efecto del tamaño. Los análisis fueron ejecutados usando Stata v16 (StataCorp, 2019).

3. Análisis y resultados

3.1. Análisis descriptivo e interpretativo de los dibujos de los estudiantes

3.1.1. Pretest

El análisis de los 162 dibujos del pretest, muestra que el 56% de los estudiantes ($n = 90$) dan cuenta de representaciones clasificadas como una descripción –nivel 1- según la rúbrica usada para ello (Tabla 1). Este tipo de representación privilegia las características físicas del fenómeno de sanación de una herida, dibujando solamente el contorno de una o más células, sin considerar contenido celular. Mientras que el 42% de los dibujos analizados ($n = 68$) dan cuenta de una representación de tipo simbólica primitiva -nivel 2- caracterizada por dibujos de carácter formal con una lectura literal del fenómeno de sanación de heridas. Lo anterior, muestra la predominancia de representaciones de tipo macroscópico del fenómeno de sanación de heridas (98 %). Solo un 2,0% de los dibujos ($n = 4$) es clasificado en nivel 3, caracterizado por representaciones formales de las células, utilizando un modelo de células más complejo (más que contornos), que incluye estructuras interiores, contenido celular característico del proceso divisional y establece alguna relación con el proceso de sanación de la herida. No se evidencian dibujos que alcancen el nivel 4 o 5 de representación.

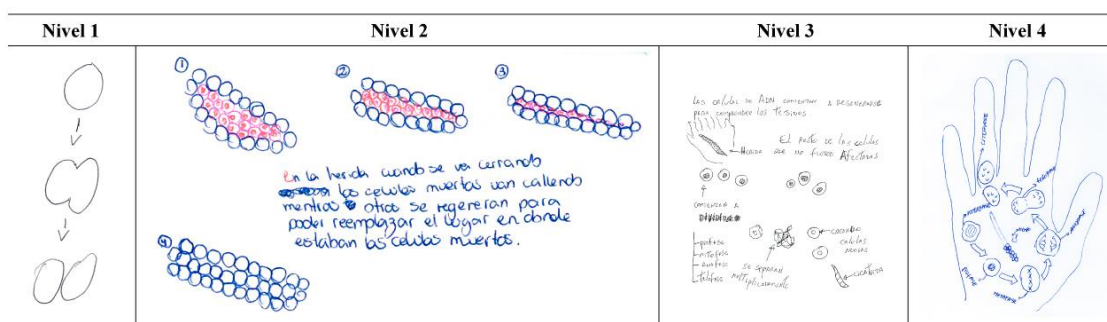
3.1.2. Postest

Una vez implementada la secuencia de enseñanza y aprendizaje (SEA) apoyada con realidad aumentada (SEA), se analizaron los 162 dibujos generados en la actividad de cierre, correspondiente al postest. El 18,5% de los dibujos fueron clasificados en nivel 1 ($n= 30$), es decir, representaciones como una descripción. En tanto, el 46,3% ($n= 75$) correspondieron a representaciones de carácter simbólico primitivo, nivel 2. Se observó una disminución de las representaciones del tipo macroscópico (64,8 %), transitando hacia dibujos más complejos y robustos del tipo microscópico. Se registra mayor especificidad y una visión más compleja de célula (con núcleo o material nuclear). En lo simbólico se representa que la herida tiene como efecto la reproducción celular. La herida es el estímulo y la reproducción es el resultado, estableciendo correlación, aunque no necesariamente se puede explicar la razón subyacente por la cual las células se reproducen. En lo sintáctico, refiere a la expresión de causalidad, es decir, ante el estímulo las células se dividen.

Los dibujos en nivel 3 correspondieron al 30,9% ($n= 50$), dando cuenta de la capacidad de los estudiantes de relacionar representaciones. Finalmente, un 4,3% ($n= 7$) fue clasificado en Nivel 4, es decir, otorgan un significado común a varias representaciones más acabadas del proceso de división celular, se establecen relaciones causales entre la herida y la reproducción, se reconoce el estímulo subyacente por el cual se inicia la reproducción, estableciéndose una relación espacio-temporal. Se evidencia una comprensión que el cambio en la densidad o distancia de las células es un estímulo. Se observa en los dibujos una representación más acabada del proceso de división celular, mostrando presencia y ausencia de envoltura nuclear y cromosomas que se reparten o migran hacia los polos celulares. Finalmente, no se evidencian dibujos que den cuenta del nivel 5, que permita justificar las problemáticas dentro de un contexto social y retórico, para pensar en otros fenómenos equivalentes conocidos más allá de la herida de la mano (otras circunstancias, otros seres vivos, como por ejemplo salamandras o estrellas de mar que regeneran extremidades). Ejemplos de dibujos se encuentran en la Figura 3.

Figura 3.

Ejemplo de dibujos según los niveles de representación encontrados



3.1.3 Análisis estadísticos

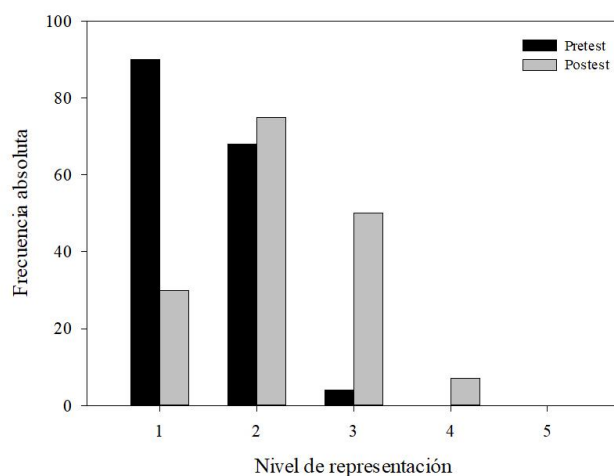
Para establecer la existencia de diferencias en el nivel de representación obtenido antes (pretest) y después (postest) de la implementación de la SEA apoyada con realidad

aumentada se utilizó la prueba no paramétrica de Wilcoxon corregida por continuidad (de Vries, 1994). Como complemento de este estudio evaluamos el comportamiento de la muestra de los niveles pre y posttest por cada sexo de manera independiente (i.e., masculino, femenino). Los resultados obtenidos muestran que la variación en la respuesta total entre el pre y posttest es distinta de cero ($V= 6222,5$; $p< 2,2 \text{ E-}16$; $n= 162$), que dicha respuesta es positiva, con un incremento en el Nivel de posttest y predominio de los rangos positivos (Figura 4). Por lo que no aceptamos la hipótesis de igualdad de las medianas poblacionales. Para este análisis el efecto del tamaño es grande ($r= 0,706$).

Considerando la diferencia entre los niveles de representación del posttest y pretest, encontramos que el 4,0% de los estudiantes ($n= 7$) desciende en el nivel de representación de posttest (de Nivel 2 a Nivel 1), el 30 % de los estudiantes ($n= 48$) no cambia su nivel de representación entre evaluaciones, mientras que el 54 % progresa hacia un mayor nivel de complejidad (niveles 2, 3 y 4 respectivamente) en sus representaciones sobre el fenómeno mitótico ($n= 87$), siendo mayoritario desde el nivel 1 al 2 (53%), de nivel 2 a 3 (34%), y minoritario de 3 a 4 (1,0%). En base a los resultados, podemos señalar entonces que el recurso genera un efecto de transición mayormente positivo, en las representaciones de los estudiantes y, por tanto, en sus visualizaciones (Gilbert, 2005). Resultados similares han sido encontrados en otras disciplinas como en química a nivel de educación secundaria (Merino y García, 2019) y fisiología en educación universitaria (González et al., 2020).

Figura 4

Frecuencia absoluta de cada Nivel de representación en pre y posttest del total de estudiantes.



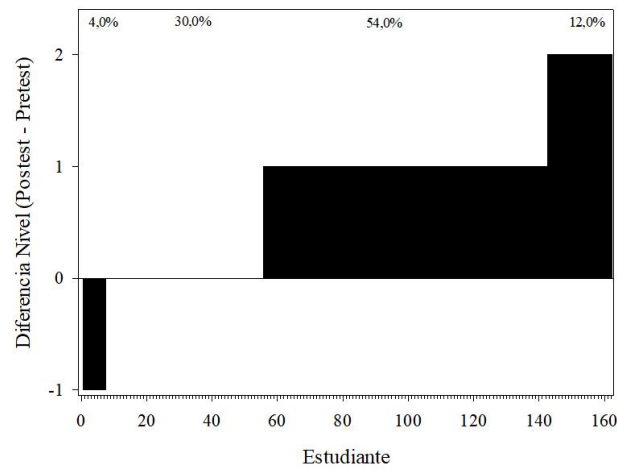
Nota. Elaboración propia

Los cambios en dos niveles de representación ocurren en el 12% de los dibujos totales analizados, siendo mayoritarios los cambios de nivel 1 a nivel 3 (70%), que aquellos registrados de nivel 2 a nivel 4 (30%) (Figura 5).

Adicionalmente, se analizó por separado la variación en los niveles de representación por sexo. Se ejecutó separadamente la Prueba de Wilcoxon corregida por continuidad para mujeres y hombres. Para mujeres la variación en la respuesta entre el pre y posttest es distinta de cero ($V= 2015$; $p= 5,248 \text{ E-}11$; $n= 162$), por lo que aceptamos la existencia de diferencias significativas en la respuesta y que dicha respuesta es positiva, con un incremento en el Nivel del posttest.

Figura 5

Diferencia individual del nivel de representación posttest y pretest.

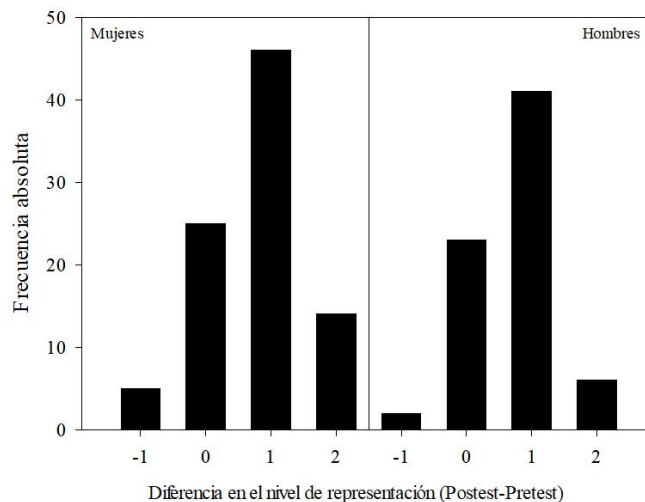


Nota. Elaboración propia.

Para este análisis el efecto del tamaño es grande ($r = 0,693$). En el caso de los varones, se registra la misma tendencia, es decir, variaciones de la respuesta de pre y posttest distinta de cero ($V = 1181$; $p = 6,396 \times 10^{-10}$; $n = 162$), incrementos de las diferencias positivas y un efecto grande del tamaño ($r = 0,729$) (Figura 6). Los datos colectados muestran a la realidad aumentada como una tecnología que genera andamiajes externos, que acompañan al estudiante dentro de su lógica interna para moverse entre niveles de representación de la división celular mitótica. Esto es consistente con lo planteado por Mayer (1997) en el sentido que aumenta la probabilidad de un aprendizaje efectivo (mirado en clave de progresión de la representación). Esto se observa en los dibujos que realizan los estudiantes una vez finalizada la actividad con apoyo de la Aplicación móvil.

Figura 6

Distribución de las frecuencias de las diferencias en el valor del nivel de representación entre el post y pretest para mujeres y hombres.



Nota. Elaboración propia.

La pregunta que queda a continuación es en qué medida los estudiantes efectivamente se están movilizando entre niveles o simplemente están transfiriendo aquello que la aplicación les permite hacer, generando una mejor respuesta a las consignas y requerimientos del profesor. No obstante, si eso fuese así, gran parte de los dibujos del postest debiesen estar en nivel 1 (representación física del objeto tal como se observa), centrado a nivel macroscópico representando una lesión abierta, la que luego aparece cerrada. A escala microscópica predominarían contornos esféricos que representan células, sin consideración a contenido celular, ni células originales y derivadas. Sin embargo, lo que nuestros análisis registran es que los productos estudiantiles logran progresar hacia los niveles 2 y 3, donde aquello que dibujan ya no es igual al objeto que observan, e incorporan en sus dibujos entidades simbólicas distintas y otros elementos semánticos, en este caso, células originales que generan células derivadas, representaciones simbólicas del proceso como flechas y líneas, para representar movimiento, contorsiones, estrangulamiento de una estructura que crece y se divide. En el nivel 3 se registraron representaciones formales de célula, un modelo más complejo de ésta que consideraban, además de los contornos celulares, presencia de estructuras características del proceso divisional, como fibras, centríolos, distintos niveles de condensación del material genético, cromosomas, acompañando más de una representación del proceso. Se reconocen relaciones correlacionales entre la herida y la proliferación celular. Ya en el nivel 4 observamos dibujos que presentaban relaciones causales entre la herida y la reproducción celular, reconociéndose el estímulo subyacente por el cual se inicia esta. Se evidencia una relación espacio/temporal del proceso divisional, el cual es representado considerando ambas variables. En este sentido, los cambios en los dibujos analizados muestran que: a) la “nueva información”, es asimilada por los estudiantes; b) la relacionan con aquellas ideas que están alojadas en sus estructuras cognitivas de acogida y por tanto se “construye” una explicación sobre el fenómeno mitótico y las relaciones de este con la cicatrización de una herida superficial; c) el fenómeno re-construido evoluciona; y, d) producto de la interacción, cambia hacia nuevos niveles de representación. Lo anterior es concordante con lo expuesto por Gilbert y Justi (2016), donde el recurso ha posibilitado a los estudiantes “transitar” por distintos niveles de representación del fenómeno a modelizar (sanación de una herida), contribuyendo al desarrollo del pensamiento científico en contexto escolar. Observar fenómenos que no son observables a ojo desnudo, que operan en la escala microscópica, manipulando objetos, rotándolos, haciendo zoom, reconociendo cambios de estructuras y en trayectorias de componentes celulares relevantes, favorece los tránsitos desde lo microscópico e inaccesible, hacia su caracterización a escala macroscópica. Con ello se logra el tránsito de modelos explicativos desde niveles de representación menores, enfatizados en la descripción física a niveles de mayor carga semántica. Estas posibilidades son difíciles de obtener con otros recursos como por ejemplo el video (Safar, 2017), dado que se requiere intencionar el recurso para tal finalidad y no es posible su manipulación por parte del estudiante. En este sentido la realidad aumentada sería una tecnología con mayor “posibilidad de acción” que otros recursos tecnológicos disponibles en el ámbito educacional escolar.

Todo lo anterior, nos permite inferir que la realidad aumentada permite a los estudiantes observar un fenómeno abstracto y descontextualizado desde diferentes puntos de vista, favoreciendo la selección y uso de esquemas mentales previos para procesar la nueva información, optimizando su memoria de trabajo en pos de nuevos esquemas mentales. Adicionalmente, este tipo de dispositivos son concebidos como altamente motivadores, estimuladores y dinamizadores del pensamiento e interacción del estudiante con el

dispositivo, del estudiante con el conocimiento biológico, del estudiante con sus pares y profesor; relevando los discursos del estudiantado –lenguajes- como un generador de representaciones y de su evolución en este sentido. Es por ello, que consideramos que el recurso en su conjunto (Secuencia y App), ofrece oportunidades de aprendizaje efectivos, activos y ubicuos (Cabero et al., 2019), generadores de representaciones más complejas y robustas en la explicación de un fenómeno biológico complejo como es la división mitótica.

4. Conclusiones

El diseño de recursos tecnológicos que reconozcan la importancia de las representaciones externas en los aprendizajes de estudiantes en el contexto escolar, tensiona la idea de que los recursos tecnológicos en la enseñanza tienen valor en sí mismo. Esto, porque los estudiantes para un fenómeno particular comparten distintos niveles de representación y, son estas representaciones, su naturaleza y entendimiento por parte del estudiante, las que pueden incidir en el tránsito hacia otras de mayor complejidad. Por lo tanto, tipificarlas o situarlas en una categoría de nivel determinada, es una oportunidad para comprender el pensamiento, pero a la vez, una oportunidad para hacer del diseño del recurso tecnológico una alternativa para promover la capacidad de representación y la movilidad cognitiva en distintos niveles. De esta forma, la visualización contribuiría a la relación del pensamiento con nuevos entornos según el aparato perceptivo de sus usuarios, relevando la construcción de conocimiento en el contexto escolar (Tsui & Treagust, 2013).

Las diversas explicaciones de los estudiantes dejan entrever que los modelos científicos representados por dispositivos de realidad aumentada son “vistos” de manera diferente por el estudiantado. Es decir, perciben algunas entidades del modelo expresado por el recurso tecnológico, el que dialoga con un modelo teórico propio (lo que sé del fenómeno), evaluando, para ajustar la representación interna disponible del fenómeno visualizado.

En esa perspectiva, la enseñanza de la biología para la comprensión de los fenómenos implica atender a la escala temporal en la que suceden (Eilam, 2013), cuestión no considerada en esta propuesta. En esta implementación no se consideró la duración relativa del proceso de división celular, ni el tiempo de las etapas descritas para la mitosis. Una alternativa es diseñar una versión de la App incorporando los tiempos promedio de poblaciones proliferantes en tejido meristemático de raíces de cebolla (*Allium cepa*).

Agradecimientos

Proyecto Fondecyt 1180619 (ANID, Gobierno de Chile).

Proyecto MINEDUC ESR ULS 1795 LIITEC (MINEDUC, Gobierno de Chile).

High school student representations of mitotic cell division: an augmented reality experience

1. Introduction

Biology teaching in schools helps students interpret and resignify everyday phenomena, as well as build mental models that allow them to explain, predict, and promote thoughts and discourses for deciding what to do and not to do in important or everyday situations (Winterbottom, 2017). In this sense, learning biology implies designing, building, modifying, and testing models of the world through language and experience (Guidoni, 1985; Lemke, 1997; Izquierdo, 2007). These mental models represent a fragment of the student's environment and consist in a series of representations that help understand important everyday situations in particular contexts (Gilbert & Justi, 2016). This process requires the students' thinking skills and the promotion of mental actions as modelling processes (Justi, 2006). Ascribing to this approach requires paying close attention to the external representations used in biology teaching and their impact on the construction of the internal representations that result from the visualization process (Gilbert, 2005). Consequently, biology teaching must take into consideration the ontological nature of the discipline as well as the associated physical and chemical processes that take place under specific spatial-temporal conditions (Spinelli et al., 2016). This means that it is not sufficient to draw on the board a diagram showing a cell in mitotic metaphase without taking into consideration the spatial-temporal conditions under which this phenomenon occurs. In this regard, expanding the offer of external representations of the processes helps enrich existing internal representations or promote new ones (Eilam, 2013). In describing biological processes as dynamic units, we promote the cognitive transition from macroscopic levels of representations to symbolic levels of representation, and viceversa, which is essential to turn environmental situations into useful mental models.

For Gilbert and Justi (2016), designing, building, using, testing, and communicating models requires visualization skills. This ability involves both internal, or mental, representations and external, or public, ones. The latter are relevant in science education as they promote the learning of ideas and they also translate into ways of expressing the thoughts of learners. From this perspective, modelling through visualization should help students 'transition' between different levels of representation of a situation or phenomenon to be modeled and, consequently, contribute to the development of scientific thinking in school settings. Additionally, visualization should be turned into a cognitive tool that helps locate phenomena or situations to be modeled in their spatial-temporal context. Creating an environment that motivates students to access this knowledge allows the possibility of transitioning between different levels of representation (Kozma & Russell, 2005), favoring deep learning based on descriptive and interpretative models of phenomena. On the above basis, this research paper explores the levels of external representations of mitotic cellular division among secondary-education students when using a teaching-learning sequence that promotes visualization through augmented-reality technology.

1.1. Teaching and Visualization of Complex Phenomena in Science

Promoting visualization is essential in science since science seeks to establish causal explanations of phenomena through experience of the world, in particular that portion of our experience that is invisible to our eyes (Jones et al., 2011; Mathai & Ramadas, 2009; Rundgren et al., 2012). Developing this skill is very important for learning science as science (a) provides perfectible explanations of natural phenomena and (b) describes the causes that lead to the specific effects that scientists are interested on. In order to learn science, students must be able to comprehend different representations of scientific concepts and processes, and be able to transition from one form of representation to another (Ainsworth, 1999). This requires understanding of and transitioning between different modes of representation of increasingly higher abstraction, going from concrete objects to language (Tsui & Treagust, 2013). They must also comprehend characteristic aspects of the macroscopic, microscopic, submicroscopic, and symbolic levels of representation that may allow them to cognitively transition between these levels (Tsui & Treagust, 2013). This skill is necessary for fully appreciating and formulating scientific explanations of natural phenomena.

Visualization plays an important role in science education and it is argued that, in order to learn science, students need to develop visualization skills (Brooks, 2009). Gilbert and Justi (2016) suggest that visualization consists in forming an internal representation from an external one such that the essence and the characteristic spatial-temporal relationships of the external representation are preserved. As visualization is model-based, we run into an epistemological and ontological problem, since the 'models' are presented in the public space (textbooks, videos, television, etc.) through a series of representation modes (Gilbert, 2005).

A model is widely understood as a 'representation of an idea, object, event, process, or system, created for a specific goal' (Justi, 2006). To some extent, a representation abstracts and translates the modeled entity not only from direct observations but also from prior ideas. Thus, in science, imagining involves modeling. The modeling process also involves the way we speak about phenomena and the generated model – we think in and through these models, and we communicate, discuss, and intervene the world through them (Galindo, 2009). In the beginning, the words or drawings used to describe a phenomenon or interpretation are taken from everyday language and from analogies related to known situations or explanations (Renström et al., 1990; Selley, 2000).

If visualization is important, then lacking this skill may severely affect learning opportunities (Merino & García, 2019; Munford & Teles, 2015). Although studies on the impact of the absence of this ability have been mostly focused on children, it is likely that secondary-education students face a similar problem in areas such as biology, chemistry, and physics. Yu et al. (2009) identified several problems among chemistry students, including (a) difficulty to represent at submicroscopic and symbolic levels a phenomenon previously represented at macroscopic scale (Órdenes et al., 2014) and (b) special difficulty to interpret at a submicroscopic level a reaction represented at a symbolic level (Krajcik et al., 1988). Therefore, with no visualization skills, students have difficulty performing demanding tasks in science classes. In biology, a model can be represented at a macroscopic, microscopic, submicroscopic, and symbolic level, and each of these levels can be expressed as external representations. Visualization consists in making sense of any of these representations and requires, to be turned into knowledge, both the external representations of those models and the internal representation derived from them (Gilbert, 2008).

From this perspective and based on the abundant literature by John Gilbert et al. (Gilbert & Justi, 2016; Gilbert & Boulter, 1998; Gilbert et al., 1998a, b), a student is able to demonstrate acquisition of this skill when:

- He or she shows an understanding of the existing conventions used to represent all the different modes (macroscopic, microscopic, and symbolic) and submodes (3D, 2D, and 1D), i.e., what they can and cannot represent.
- He or she is able to translate a model between the different modes and submodes that can represent it.
- He or she is able to produce a representation in any dimensionality mode and submode for a specific purpose.
- He or she is able to solve a novel problem using a model-based approach. This can be achieved by drawing an analogy to a problem that has already been solved (Polya, 1957, p. 27) or by providing visual recall cues and discarding perception information that is irrelevant to the problem (Beveridge & Parkins, 1987, p. 235).

To translate this into observable performance, we used the notion of the scheme of 'progression in representational competence' by Kozma and Russell (2005). This scheme uses a key of representational levels that is specific to each scientific concept, in this case mitotic division (table 1). For each of these levels, the authors suggest educational opportunities and feedback that may be provided to each student based on their products.

1.2. Immersive Technologies for Promoting Visualization in Science Classes

To promote more robust explanations to biological phenomena in students, the literature explicitly suggests using multimedia resources as much as possible on the basis that simultaneous access to both verbal and visual information promotes effective learning (Mayer, 1997). The 2014–2019 Horizon Reports (Madden, 2011; Alexander et al., 2019) identify and describe the technologies that will have a significant impact on education in the next twenty years, including augmented reality (AR), an immersive type of technology that allows the user to combine real-world objects and virtual objects in the same real-world space (Azuma et al., 2001). This technology was used in the 1990s to train airplane pilots, and a decade later, as a result of the advances in the capacities and functionalities of mobile devices (Garzón et al., 2019), it has expanded into the industry, training, manufacturing, tourism, and business sectors (Akçayır & Akçayır, 2017).

Some literature reviews on the use of AR have described the advantages, limitations, and educational potential, as well as the challenges and conditioning factors of this technology (Arici et al., 2019; Garzón et al., 2019; Akçayır & Akçayır, 2017; Cabero et al., 2019; Pedaste et al., 2020). For all its potential applications to learning, AR is starting to pervade educational settings, mainly the areas of medicine, geography, literature, and mathematics, but little research has been conducted in the field of science (Arici et al., 2019). In the area of biology, we can find some promising developments, such as learning resources for medical education (Tang et al., 2020), environmental science, ecology and conservation, genetics, cellular and molecular biology, that encompass every level of

education (Garzón et al., 2019), although most of these developments have been made without recourse to a cognitive, epistemological, or social learning theory that may help predict or explain the results. Integrating this technology into learning sequences to promote visualization is both a challenge and an opportunity (Merino et al., 2015), but it would provide students with highly interactive supporting content. Students would also benefit from visualizing the relationship between the objects around them and the concepts learned, and would acquire the necessary skills to interpret knowledge based on real-world experiences and experimentation (Fabri et al., 2008). Barroso Osuna et al. (2018) point out that some limitations of this technology are that (i) there are more technological proposals than real implementations in education; novelty is leading to (ii) a lack of theoretical reflection, particularly as regards to providing answers to central epistemological questions, i.e., what to teach and, more importantly, why teach, and (iii) a lack of adequate educational material. In sum, the use of augmented reality in educational settings continues to be an open area of research.

2. Methods

This research study follows a pre-experimental, quantitative design, consisting in the administration of a pretest and a posttest to assess the students' representations of the mitotic division phenomenon. The study has two objectives:

- a) Assess the students' representations of the mitotic division process by examining their explanations of an everyday phenomenon (healing of a wound).
- b) Identify changes in the representational levels achieved by the participant students after they use a learning sequence that promotes visualization through augmented reality.

Based on our objectives, our work hypothesis is that, after participating in a visualization class supported with augmented-reality technology, students show no significant differences in their representations of the mitotic division phenomenon compared to before the use of augmented reality.

2.1. Sample Population

An intentional non-probability sampling method was used to select 262 second-grade secondary-education students from two government-owned schools from the municipality of La Serena, Chile. The total study population consisted of 103 males and 159 females, with a mean of 15.8 (± 0.75) and a median of 16 years of age. The curricular content used for the study was mitosis.

2.2. Resource Description

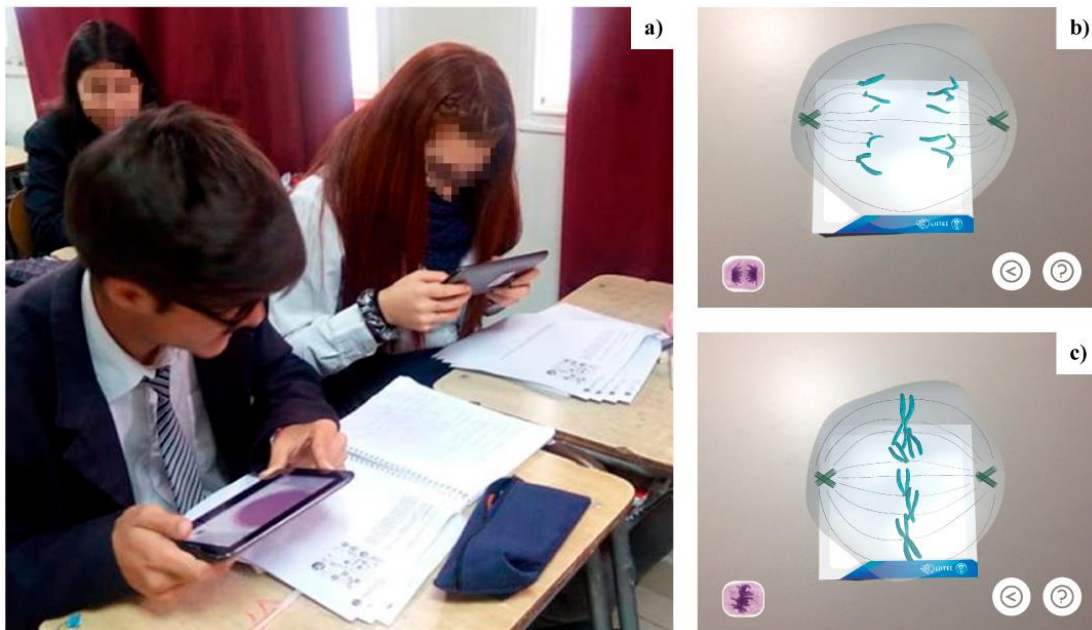
We developed a teaching-learning sequence (TLS) supported by augmented-reality technology. The TLS was developed based on the social-constructivist perspective proposed by Jorba and Sanmartí (1996), which views scientific learning as the construction and modification of representations through language (e.g., verbal, iconic) and experience.

The mobile app used was '3D Mitotic Division' (Spanish version), developed by LIITEC-ULS (liitec.userena.cl/rte) and available for download from Play Store or the Apple Store. The app allows the students to explore cellular division by manipulating the external representation of the process (figure 1) to promote abstraction and extension, i.e, detect and extract relevant information in order to make generalizations from specific representations (Tsui & Treagust, 2013).

For use in classes, the app was preinstalled in Samsung Galaxy A2016™ (10.1'; Android v.9) tablets, which were handed to each student at the start of the class together with the teaching-learning sequence in printed format (figure 1a). When the tablet camera is pointed at a target, a 3D model is shown. This model can be rotated and zoomed in, and also shows, in the below left, a microscope image of the corresponding mitotic phase (figures 1b and 1c) – prophase, anaphase, telophase, as well as cytokinesis and interphase. In the weeks prior to the classroom implementation, the teachers received training on how to use the app, and during its implementation, the class was supported by the school's IT staff in case any technical issue related to the use of the app would occur.

Figure 1

Classroom implementation (a) and 3D models of the mitotic anaphase (b) and metaphase(c)



Note: Prepared by the authors

2.3. Data collection Instruments

To compare the students' levels of representation of mitotic division, we developed an instrument that was administered as a pretest and posttest, containing the following image and statement (figure 2).

Figure 2

Statement used in the pretest and the posttest

If you have ever suffered a wound, such as the one shown in the image, you may know that the wound disappears after some time – the wound heals.

Now imagine that you must explain how the wound healed by means of a drawing. What would your explanation look like?



The statement is intended to elicit the student's past experiences related to the wound healing phenomenon and promote the construction of internal representations to be expressed. The instrument was administered twice. First, it was administered to the students after a class in which the augmented-reality app was not used (pretest), and then, at the end of a class in which the students used the teaching-learning sequence together with the mobile app (posttest).

2.4. Data Analysis Method

The instrument used to assess the representational levels achieved in the pretest and the posttest was a rubric adapted from Kozma and Russell (2005). The rubric defines five representational levels and provides an operational description for each (table 1). The instrument was adapted to the teaching subject – mitotic division – and validated using the peer-review method (Robles Garrote & Rojas, 2015). The procedure to assign the representational levels involved two raters, who used the rubric to analyze the students' answers (drawings) in the pretest and posttest. Of the 262 participants, only the drawings from those students who completed the pretest and the posttest were selected. As a result, the sample size was reduced to 162 pairs of valid drawings (61.8%). A total of 100 students were excluded due to missing answers in the pretest ($n = 38$), posttest ($n = 40$), or both ($n = 22$).

Table 1

Summary of levels of representation

Level	Description	Performance
1	Representation as depiction. When asked to represent a physical phenomenon, the person generates representations of the phenomenon based only on its physical features. That is, the representation is an isomorphic, iconic depiction of the phenomenon at a point in time.	The student explains the wound-healing process by drawing an open cut and then a closed cut at a macroscopic level. There may be allusion to the scarring process. The student is also able to draw the contours of one or more cells at a macroscopic level, but without giving consideration to cell content. He or she also suggests the cell division process and draws multiple circular cells.
2	Early symbolic skills. The student may be familiar with a formal	At a macroscopic and symbolic scale (early symbolic skills), the student is able to draw the contours of cells that give

	representational system, but its use is merely a literal reading of a representation's surface features without regard to syntax and semantics.	origin to derived cells. The student also draws arrows pointing at the parent and daughter cells, or some kind of symbolic representation of the process. The drawing may contain a representation of the movement, twisting, or strangulation of a structure that grows and divides.
3	Syntactic use of formal representations The person makes connections across two different representations of the same phenomenon based only on syntactic rules or shared surface features, rather than the shared, underlying meaning of the different representations and their features.	The student depicts a formal representation of the cells based on a more complex model of the cell (not only contours) that includes internal structures and cellular content characteristic of the divisional process (spindle, centrioles, nucleus, chromatin, chromosomes, condensed or uncondensed fibers). There is more specificity and a more complex model of the cell (it contains a nucleus or nuclear material). At a symbolic level, the wound is represented as resulting in cell division. The wound is depicted as the stimulus and division as the result, but there is no explanation of the underlying cause of cell division. At a syntactic level, allusion is made to causality, that is, cells divide due to stimuli.
4	Semantic use of formal representations. The student can provide a common underlying meaning for several kinds of superficially different representations and transform any given representation into an equivalent representation in another form. The student spontaneously uses representations to explain a phenomenon, solve a problem, or make a prediction.	The student establishes causal connections between the wound and the cell division process, and identifies the underlying stimulus that causes cell division. The drawing demonstrates an understanding that changes in cell density or intercellular distance act as a stimulus. It depicts the cut as a stimulus and also shows the spatial-temporal relationships (there is an idea of what happens before, during, and after the cut). It depicts the loss of cells as a result of the cut and their replacement by new cells, which explains scarring as a process. The drawing evidences a more refined representation of the cell division process by depicting the presence and absence of nuclear envelope, and chromosomes migrating towards the cell poles.
5	Reflexive use of representations. The student can use specific features of the representation to warrant claims within a social, rhetorical context. He or she can select or construct the representation most appropriate for a particular situation and explain why that representation is more appropriate than another.	There is a transition from the macroscopic to the microscopic level, and viceversa. There is abstraction. There is knowledge transference to similar phenomena other than the wound on the hand (other circumstances or living beings). The drawing depicts other situations that can be explained by the same process responsible for scarring (cell division). That is, the same process that explains the healing of a wound can be used to explain the development of living beings and their ability to repair tissue.

Note: Adapted from Kozma and Russell (2005).

2.5. Data Analysis Technique

A total of 162 pairs of valid drawings were included in the coding and data analysis.

2.5.1 Pretest and posttest

To evaluate the representational levels, each rater received a short training on how to interpret and use the rubric. Then, each rater independently assigned a level of representation to each of the 162 pairs of drawings. Finally, to validate the assignment procedure, we applied Cohen's kappa reliability coefficient using 6 levels of agreement: *poor*, *weak*, *acceptable*, *moderate*, *considerable*, and *almost perfect* (Taber, 2018). The kappa values for the rater-assigned codes were $k = 0.822$ for the pretest and $k = 0.756$ for the posttest, with 'almost perfect' or 'considerable' agreement, respectively. The random agreement factor for each case was 20%. The changes in the levels of representation between the pretest and the posttest were determined by the Wilcoxon test corrected for continuity and size effect. The analyses were performed using Stata v.16 (StataCorp, 2019).

3. Analysis and Results

3.1. Descriptive Analysis and Interpretation of the students' Drawings

3.1.1. Pretest

The analysis of the 162 pretest drawings shows that 56% of the students ($n = 90$) produced a level-1 representation (depiction) according to the rubric (table 1). This type of representation favors the physical features of the wound-healing phenomenon, where the contours of the cells are drawn without consideration of the cell content. Then, 42% of the students ($n = 68$) produced level-2 representations (symbolic), characterized by formal drawings that provide a literal reading of the wound-healing phenomenon. At this level the predominant representations are macroscopic in nature (98%). Only 2.0% of the drawings ($n = 4$) were classified as level 3, a level characterized by formal representations of the cells based on a more complex model of the cell that includes not only the cell contours, but also internal structures, cellular content characteristic of the divisional process, and some connection to the wound-healing process. No drawings were assigned levels 4 or 5.

3.1.2. Posttest

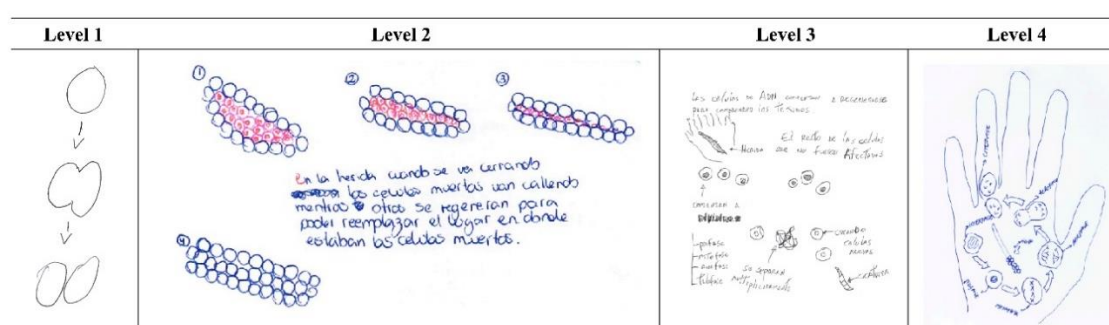
After the implementation of the augmented-reality-based teaching-learning sequence (TLS), the 162 drawings produced during the closing activity – the posttest – were rated. Overall, 18.5% of the drawings were rated as level 1 ($n = 30$), i.e., representation as depiction, and 46.3% ($n = 75$) were rated as level 2, i.e., early symbolic. Overall, there was a decrease in the number of macroscopic representations (64.8%) and an increase in the number of more complex and robust microscopic drawings. More specificity and a more complex view of the cell (with nucleus or nuclear material) was also observed. At a symbolic level, the wound is represented as resulting in cell division. The wound is the stimulus and cell reproduction is the result, though the underlying cause of cell reproduction is not explained. At a syntactic level, reference is made to causality, that is, cells divide due to stimuli.

Level-3 drawings accounted for 30.9% ($n = 50$) of the products, which evidences the students' ability to relate representations. Lastly, 4.3% ($n = 7$) of the drawings were rated as

level 4, where a common meaning is assigned to several, more intricate representations of cell division, causal relationships between the wound and cell reproduction are established, the underlying stimulus of cell reproduction is identified, and spatial-temporal connections are established. These drawings evidence an understanding that changes in cell density or intercellular distance act as a stimulus. They also evidence a more refined representation of the cell division process, characterized by the presence and absence of nuclear envelope, and chromosomes that migrate towards the cell poles. No drawings were rated as level 5, i.e., able to justify the problem in a social and rhetorical context and extrapolate to equivalent phenomena other than a wound on the hand (other circumstances or living beings, such as, salamanders or starfish, which are self-healing). Sample drawings are presented in figure 3.

Figure 3

Sample drawings for each level of representation found.



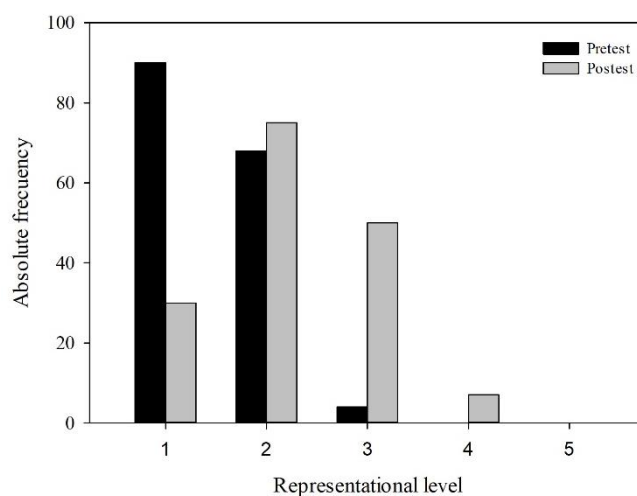
3.1.3 Statistical Analysis

A Wilcoxon non-parametric test corrected for continuity was used to identify differences in the levels of representations before (pretest) and after (posttest) the implementation of the augmented-reality-based TLS (de Vries, 1994). As a supplement to the study, the pretest and posttest sample behavior were also independently assessed for each sex (male or female). The results showed a non-zero and positive change ($V = 6,222.5$; $p < 2.2 \text{ E-}16$; $n = 162$) in the total response between the pretest and the posttest, with a level increase in the posttest and predominance of positive ranges (figure 4). Based on this, we rejected the null hypothesis for population medians. The size effect in this analysis was large ($r = 0.706$).

Regarding the difference between the pretest and posttest levels of representations, we found that 4.0% of the students ($n = 7$) were rated lower in the posttest (from level 2 to level 1), 30% ($n = 48$) remained in the same level between tests, and 54% were rated higher (levels 2, 3, and 4 respectively) in their representations of the mitotic division phenomenon ($n = 87$). The most frequent changes were from level 1 to level 2 (53%) and from level 2 to level 3 (34%), and less frequent from level 3 to level 4 (1.0%) Based on our results, we argue that the technological resource causes a mostly positive transition effect in the students' representations and, consequently, their visualizations (Gilbert, 2005). These results are consistent with those found for other disciplines, such as secondary-education chemistry (Merino & García, 2019) and university-level physiology (Gonzalez et al., 2020).

Figure 4

Absolute frequency of each representational level for the pretest and the posttest in the total study population.

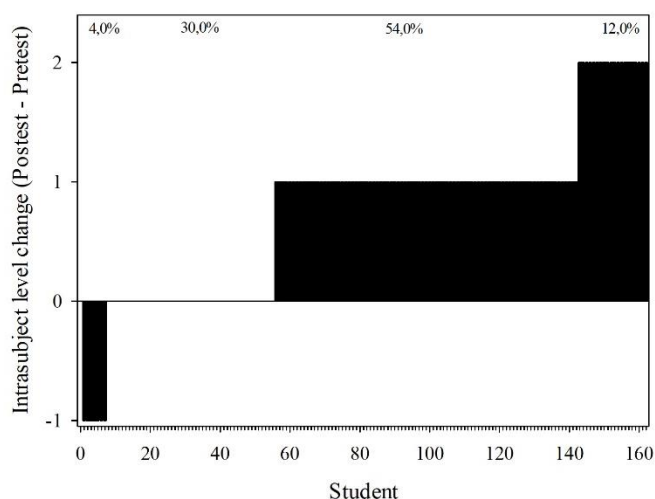


Note: Our own.

Changes in the representational levels occurred in 12% of the drawings analyzed, the most frequent being changes from level 1 to level 3 (70%) rather than from level 2 to level 4 (30%) (figure 5).

Figure 5

Intrasubject changes in representational levels between the pretest and the posttest.



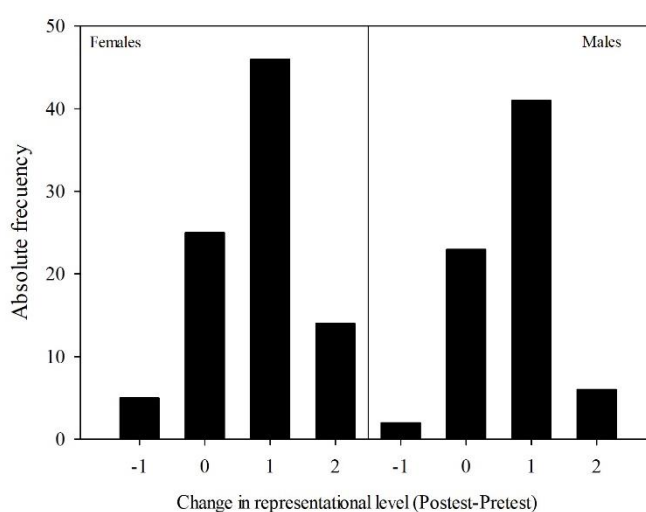
Note: Prepared by the authors

Additionally, changes in the representational levels were also analyzed per sex. A Wilcoxon test corrected for continuity was performed independently for males and females. For female participants, the pretest and posttest changes in response were non-zero ($V = 2015$; $p = 5.248 \text{ E-}11$; $n = 162$) and confirmed the existence of significant positive differences in response, with an increase in the posttest level of representation. The size effect in this analysis was large ($r = 0.693$) The same trend was observed in male

participants, where pretest and posttest changes in response were non-zero ($V = 1181$; $p = 6.396 \times 10^{-10}$; $n = 162$), positive differences increased, and size effect was large ($r = 0,729$) (figure 6). The collected data shows that augmented reality is a technology that provides an external structure for the student's internal logic, that allows him or her to transition between the different levels of representation of mitotic division. These findings are consistent with Mayer (1997) in that augmented reality promotes effective learning (based on the scheme of progression of representational competence), as measured by the drawings produced by the students after using the mobile app.

Figure 6

Frequency distribution of changes in the representational levels between the pretest and the posttest for male and female participants.



Note: Prepared by the authors

The question we need to address now is to what extent the students are effectively transitioning between levels or applying what the app allows them to do, thereby providing better answers to the requirements from the teacher. If they are not, most of the posttest drawings should be rated as level 1 (physical depiction of the object as observed), i.e., representation of a macroscopic open wound followed by a representation of a close wound. At a microscopic scale, the predominant elements should be spherical contours that represent cells, but without consideration of cell content or original and derived cells. However, our analyses show that the students are able to advance to levels 2 or 3, in which their drawings not only depict the observed object but also incorporate various symbolic entities and other semantic elements, such as original cells that give origin to derived cells, as well as symbolic representations of the process, such as arrows and lines, to represent movement, twisting, and strangulation of a structure that grows and divide. Level-3 representations typically show formal depictions of the cell, a more complex model of the cell showing cell contours, the presence of structures that are typical of the division process, such as fibers and centrioles, different levels of condensation of genetic material, chromosomes, and a representation of the process. The drawings also depict correlations between the wound and the cell division process. Level 4 drawings typically represent causal relationships between the wound and cell division, with consideration of the underlying stimulus that initiates the division process. They also represent the spatial-temporal

relationship of the divisional process, giving consideration to both of these variables. In this respect, the changes in the analyzed drawings show that (a) the students assimilate the 'new information'; (b) they relate this information with the ideas they hold in their receptor cognitive structures and, therefore, they are able to 'formulate' and explanation about the mitotic division phenomenon and its connections to the healing of a superficial wound; (c) the constructed model of the phenomenon evolves; and (d) as a result of the interaction, the model evolves towards higher representational levels. This is consistent with Gilbert and Justi (2016), who suggest that this technological resource allows the students to 'transition' along different representational levels of the phenomenon to be modeled (healing of a wound), promoting the development of scientific thinking in school settings.

Looking at phenomena that cannot be directly observed with the naked eye or phenomena that operate at a microscopic scale by manipulating, rotating, and zooming in on objects, as well as recognizing changes in the structures and the trajectories of relevant cellular components, promotes the transition from the microscopic or inaccessible towards its characterization at a macroscopic scale. This makes it possible to transition from explanatory models at lower representational levels, focused on physical description, toward levels of higher semantic load. These results are difficult to obtain with other resources, such as video (Safar, 2017), since the resource needs to be designed for that specific purpose and video cannot be manipulated by the student. In this respect, augmented reality seems to be a technology with greater potential than other technological resources available in school settings.

We infer from the above that augmented reality allows students to look at abstract, decontextualized phenomena from different points of view, promoting the selection and use of preexisting mental schemes to process new information and optimizing their working memory for new mental schemes. Additionally, this kind of devices are thought to greatly motivate, stimulate, and dynamize thinking and the interaction between the student and the device, the student and the biological content, the student and their peers or teachers. They also show that the students' discourse (language) is a generator of representations and allow us to recognize the evolution in the students' representations. For the above reasons, we think that the complete resource (teaching-learning sequence and mobile app) offers an opportunity for effective, active, and ubiquitous learning (Cabrero et al., 2019), as well as a tool for developing more complex and robust representations to explain complex biological phenomena such as mitotic division.

4. Conclusiones

The development of technological resources that recognize the importance of external representations in students' learning in school settings challenges the idea that technological resources have value in themselves. This is because students possess different representational levels for a specific phenomenon and it is these representations, its nature, and the students' understanding of them, what may influence the transition towards more complex ones. Therefore, typifying them or placing them in a specific category is an opportunity to understand the thinking behind but also to make of technological resource design an alternative to develop the representation skills and promote cognitive mobility at multiple levels. In this way, visualization may contribute to relate thinking to new environments, depending on the users' perceptual apparatus, thus promoting knowledge building in school settings (Tsui & Treagust, 2013).

The various explanations produced by the students show that scientific models represented using augmented reality are 'seen' differently by the students. That is, the students perceive some entities in the model projected by the technological resource, that interact with their own theoretical model (what they know about the phenomenon) and modify their internal representation of the visualized phenomenon.

From this perspective, teaching biology for understanding phenomena requires understanding the phenomena's temporal scale (Eilam, 2013), a subject that is not considered in this research study. This implementation did not take into account the relative duration of the cell division process or the timing of the mitotic phases described. A solution to this would be to develop a version of the app that incorporates the mean times of proliferating populations of cells in meristematic tissue of onion roots (*Allium cepa*).

Acknowledgments

Fondecyt 1180619 Project (ANID, Chilean Government).

MINEDUC ESR ULS 1795 LIITEC (MINEDUC, Chilean Government).

References

- Ainsworth, S. (1999). The functions of multiple representations. *Computers in Education*, 33(2/3), 131–152. [https://doi.org/10.1016/S0360-1315\(99\)00029-9](https://doi.org/10.1016/S0360-1315(99)00029-9)
- Akçayır, M., & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review*, 20, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.002>
- Alexander, B., Ashford-Rowe, K., Barajas-Murphy N., Dobbin, G., Knott J., McCormack, M., Pomerantz, J. Seilhamer R., & Weber, N. (2019). *EDUCAUSE Horizon Report: 2019 Higher Education Edition*. EDUCAUSE. <https://bit.ly/2M9Qv3j>
- Arici, F., Yildirim, P., Caliklara, Ş., & Yilmaz, R. M. (2019). Research trends in the use of augmented reality in science education: Content and bibliometric mapping analysis. *Computers & Education*, 142, 163647. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103647>.
- Azuma, R., Baillot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., & MacIntyre, B. (2001). Recent advances in augmented reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 21(6), 34-47. <https://doi.org/10.1109/38.963459>
- Barroso-Osuna, J., Cabero, J., & Valencia, R. (2018). Uso educativo de la RA: experiencias en España y México. *Enseñanza & Teaching: Revista interuniversitaria de didáctica*, 36(2), 7-29. <http://dx.doi.org/10.14201/et2018362729>
- Beveridge, M., & Parkins, E. (1987). Visual representation in analogical problem solving. *Memory & Cognition*. 15, 230-237. <https://doi.org/10.3758/BF03197721>

- Brooks, M. (2009). Drawing, visualization and young children's exploration of 'big ideas. *International Journal of Science Education*, 31(3), 319–41. <https://doi.org/10.1080/09500690802595771>
- Cabero, J., Barroso, J., & Llorente, C. (2019). Augmented reality in university education. *REDU. Revista de Docencia Universitaria*, 17(1), 105-118. <https://doi.org/10.4995/redu.2019.11256>
- De Vries, M. S. (1994). Evaluations using nonparametric statistics. *Quality and Quantity*, 28(1), 1–20. <https://doi.org/10.1007/BF01098724>
- Eilam, B. (2013). Possible constraints of visualization in biology: Challenges in learning with multiple representations. In D. F. Treagust & C. Y. Tsui (eds.), *Multiple representations in biological education* (pp. 55-73). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4192-8_4
- Fabri, D., Falsetti, C., Lezzi, A., Ramazzotti, S., Viola, S., & Leo, T. (2008). Reality virtual and augmented. In A. Adelsberger, J. Kinshuk, J. Pawlowski & D. Sampson (eds.), *Handbook on Information Technologies for Education and Training* (pp. 113–132). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-74155-8_7
- Galindo, A. A. G. (2009). *Estudio de los seres vivos en la educación básica: Enseñanza del sistema nervioso desde un enfoque para la evolución de los modelos escolares*. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Garzón, J., Pavón, J. & Baldiris, S. (2019). Systematic review and meta-analysis of augmented reality in educational settings. *Virtual Reality* 23, 447-459. <https://doi.org/10.1007/s10055-019-00379-9>
- Gilbert, J., & Boulter, C. (1998). Learning Science through Models and Modelling. In B. Fraser & T. Kenneth (eds.), *International Handbook of Science Education* (pp. 53–66). Kluwer Academic Publishers.
- Gilbert, J., Boulter, C., & Rutherford, M. (1998a). Models in explanations, Part 1: Horses for Courses? *International Journal of Science Education*, 20(1), 83–97. <https://doi.org/10.1080/0950069980200106>.
- Gilbert, J., Boulter, C., & Rutherford, M. (1998b). Models in Explanations, Part 2: Whose Voice? Whose Ears? *International Journal of Science Education*, 20(2), 187–203. <https://doi.org/10.1080/0950069980200205>.
- Gilbert J. K. (2005). Visualization: A Metacognitive Skill in Science and Science Education. In J. K. Gilbert (ed.), *Visualization in Science Education. Models and Modeling in Science Education*, vol 1 (pp. 9-27). Springer. https://doi.org/10.1007/1-4020-3613-2_2
- Gilbert, J. (2008). Visualization: An emergent field of practice and enquiry in science education. In J. K. Gilbert, M. Reiner & M. Nakleh (eds.), *Visualization: Theory and Practice in Science Education* (pp. 3-24). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5267-5_1
- Gilbert, J., & Justi, R. (2016). *Modelling-based teaching in science education* (Vol. 9). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-29039-3>
- Gonzalez, A. A., Lizana, P. A., Pino, S., Miller, B. G., & Merino, C. (2020). Augmented reality-based learning for the comprehension of cardiac physiology in undergraduate biomedical students. *Advances in Physiology Education*, 44(3), 314–322. <https://doi.org/10.1152/advan.00137.2019>

- Guidoni, P. (1985). The natural thinking. *European Journal of Science Education*, 7(2), 133-140
- Izquierdo, M. (2007). Enseñar ciencias, una nueva ciencia. *Enseñanza de las Ciencias Sociales*, 6, 125-138.
- Jones, M. G., Gardner, G., Taylor, A., Wiebe, E., & Forrester, J. (2011). Conceptualizing magnification and scale: The roles of spatial visualization and logical thinking. *Research in Science Education*, 41(3), 357-368. <https://doi.org/10.1007/s11165-010-9169-2>
- Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 173–184.
- Jorba, J., & Sanmartí, N. (1996). *Enseñar, aprender y evaluar: un proceso de regulación continua. Propuesta didáctica para las áreas de ciencias de la naturaleza y las matemáticas*. Ministerio de Educación y Cultura. <https://bit.ly/2M9B6zY>
- Krajcik, J., Simmons, P., & Lunetta, V. (1988). A research strategy for the dynamic study of students' concepts and problem-solving strategies using science software. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(2), 147–55. <https://doi.org/10.1002/tea.3660250206>.
- Kozma, R., & Russell, J. (2005). Students becoming chemists: developing representation competence. In J. K. Gilbert (ed.), *Visualization in Science Education* (pp. 121–145). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/1-4020-3613-2_8
- Lemke, J. (1997). *Aprender hablar ciencias. Lenguaje, aprendizaje y valores*. Paidós.
- Madden, L. (2011). *Professional Augmented Reality Browsers for Smartphones: Programming for Junaio, Laya & Wikitude*. Wiley Publishing, Inc.
- Mathai, S., & Ramadas, J. (2009). Visuals and visualization of human body systems. *International Journal of Science Education*, 31(3), 439-58. <https://doi.org/10.1080/09500690802595821>
- Mayer, R. E. (1997). Multimedia learning: are we asking the right questions? *Educational Psychologist*, 32, 1–19. <https://doi.org/10.1080/09500690500060417>
- Merino, C., & García, Á. (2019). Incorporation of augmented reality for the development of visualization capabilities. A study of high school students understanding of the atomic model. *Pensamiento Educativo*, 56(2), 1–23. <https://doi.org/10.7764/PEL.56.2.2019.6>
- Merino, C., Pino, S., Meyer, E., Garrido, J. M., & Gallardo, F. (2015). Realidad aumentada para el diseño de secuencias de enseñanza-aprendizaje en química. *Educación Química*, 26(2), 94–99. <https://doi.org/10.1016/j.eq.2015.04.004>
- Munford, D., & Teles, A. P. S. S. (2015). Argumentação e a construção de oportunidades de aprendizagem em aulas de ciências. *Ensaio Pesquisa Em Educação Em Ciências (Belo Horizonte)*, 17(spe), 161–185. <https://doi.org/10.1590/1983-2117201517s09>
- Pedaste, M., Mitt, G., & Jürivete, T. (2020). What is the effect of using mobile augmented reality in K12 inquiry-based learning? *Education Science*, 10(4), 94. <https://doi.org/10.3390/educsci10040094>
- Polya, G. (1957). *Matemáticas y Razonamiento Plausible*. Tecnos.

- Órdenes R., Arellano, M., Jara, R. & Merino, C. (2014). Representaciones macroscópicas, submicroscópicas y simbólicas sobre la materia. *Educación Química*, 25(1), 46-55. <https://bit.ly/2YdUeZt>
- Renström, L., Andersson, B., & Marton, F. (1990). Students' conceptions of matter. *Journal of Educational Psychology*, 82(3), 555-569. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.82.3.555>
- Robles Garrote, P., & Rojas, M. del C. (2015). La validación por juicio de expertos: dos investigaciones cualitativas en Lingüística aplicada. *Revista Nebrija de Lingüística Aplicada* 18, 1-16. <https://bit.ly/3ojvdxn>
- Rundgren, C., Hirsch, R., Chang, S., & Tibell, L (2012). Students' communicative resources in relation to their conceptual understanding the role of non-conventionalized expressions in making sense of visualizations of protein function. *Research in Science Education*, 42(5), 891–913. <https://doi.org/10.1007/s11165-011-9229-2>.
- Safar A. H. (2017) The effectiveness of using augmented reality apps in teaching the English alphabet to kindergarten children: a case study in the state of Kuwait. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(2), 417-440. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.00624a>
- Selley, N. (2000). Students' spontaneous use of a particulate model for dissolution. *Research in Science Education*, 30(4), 389-402. <https://doi.org/10.1007/BF02461558>
- Spinelli, B., Morales, C., Merino, C., & Quiroz, W. (2016). Realist ontology and natural processes: a semantic tool to analyze the presentation of the osmosis concept in science texts. *Chemistry Education Research and Practice*, 17(4), 646–655. <https://doi.org/10.1039/C5RP00219B>
- StataCorp. (2019). *Stata Statistical Software: Release 16*. StataCorp LLC.
- Taber, K. S. (2018). The Use of Cronbach's Alpha When Developing and Reporting Research Instruments in Science Education. *Research in Science Education*, 48(6), 1273–1296. <https://doi.org/10.1007/s11165-016-9602-2>
- Tang, K. S., Cheng, D. L., Mi, E., & Greenberg, P. B. (2020). Augmented reality in medical education: a systematic review. *Canadian Medical Education Journal*, 11(1), e81–e96. <https://doi.org/10.36834/cmej.61705>
- Tsui, C. Y., & Treagust, D. F. (2013). Introduction to multiple representations: Their importance in biology and biological education. In D. Y. Treagust & C. Y. Tsui (eds.), *Multiple representations in biological education* (pp. 3-18). Springer. https://doi.org/10.1007 / 978-94-007-4192-8_1
- Yu, D., Jin, J. S., Luo, S., Lai, W., & Huang, Q. (2009). A useful visualization technique: a literature review for augmented reality and its application, limitation; future direction. In M. L. Huang, Q. V. Nguyen & K. Zhang (eds.), *Visual Information Communication* (pp. 311-337). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0312-9_21
- Winterbottom M. (2017). Teaching and Learning Biology. In Taber K. S. & B. Akpan (eds.), *Science Education. New Directions in Mathematics and Science Education*. Sense Publishers. https://doi.org/10.1007/978-94-6300-749-8_25

Cómo citar:

López-Cortés, F., Ravanal Moreno, E., Palma Rojas, C., Merino Rubilar, C. (2021). Representaciones de estudiantes de educación secundaria sobre la división celular mitótica: una experiencia con realidad aumentada [High school student representations of mitotic cell division: an augmented reality experience]. *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*, 62, 7-37.
<https://doi.org/10.12795/pixelbit.84491>