



Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias
ISSN: 1697-011X
revista.eureka@uca.es
Universidad de Cádiz
España

Diseño y evaluación de “Micro-Hoek”: un microscopio a bajo costo con teléfonos móviles para la educación básica

Rodríguez-Malebrán, Mariano; Mundaca Maldonado, Edgardo; Ocelli, Maricel; Ariza, Yefrin
Diseño y evaluación de “Micro-Hoek”: un microscopio a bajo costo con teléfonos móviles para la educación básica

Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, vol. 19, núm. 2, 2022
Universidad de Cádiz, España

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92069718004>

DOI: https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2022.v19.i2.2202

Diseño y evaluación de “Micro-Hoek”: un microscopio a bajo costo con teléfonos móviles para la educación básica

Design and evaluation of “Micro-Hoek”: a low-cost microscope with mobile phones for basic education.

Mariano Rodríguez-Malebrán
Grupo de Investigación EDUCEVA - Grupo de Extensión
CienciaTIC. Departamento de Enseñanza de la Ciencia
y la Tecnología - FCEFYN, Universidad Nacional de
Córdoba, Argentina
mariano.rodriguez@userena.cl

 <https://orcid.org/0000-0003-4116-4274>

Edgardo Mundaca Maldonado
Departamento de Biología, Facultad de Ciencias,
Universidad de La Serena, Chile
emundaca@userena.cl

 <https://orcid.org/0000-0001-6348-6368>

Maricel Ocelli
Departamento de Enseñanza de la Ciencia y la Tecnología,
Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales,
Universidad Nacional de Córdoba, Argentina
maricel.ocelli@unc.edu.ar

 <https://orcid.org/0000-0002-4516-0644>

Yefrin Ariza
Departamento de Biología y Química, Facultad de Ciencias
Básicas, Universidad Católica del Maule, Talca, Chile
aariza@ucm.cl

 <https://orcid.org/0000-0002-1993-7245>

DOI: https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2022.v19.i2.2202
Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92069718004>

Recepción: 06 Agosto 2021
Revisado: 13 Septiembre 2021
Aprobación: 16 Enero 2022

RESUMEN:

La enseñanza de la biología y en particular de las representaciones alrededor de fenómenos a escala microscópica representa un desafío para el profesorado, tanto por el nivel de abstracción necesaria, como por la necesidad de instrumental específico que contribuya a la construcción de representaciones científicas escolares. En este trabajo se presenta el diseño y evaluación de un modelo de microscopio de bajo costo, denominado “Micro-Hoek”, en ambientes escolares públicos y con dificultades económicas de acceso a instrumental técnico adecuado. En la primera parte del trabajo se presenta un análisis documental para el diseño del “Micro-Hoek”; y en la segunda parte, se presenta el diseño y evaluación del “Micro-Hoek” por parte de 62 estudiantes de enseñanza básica y 23 profesores de educación básica de establecimientos públicos de la Región de Coquimbo en Chile. Los participantes elaboraron el prototipo que contempla el uso de teléfonos móviles y material reciclable de bajo costo, posteriormente contestaron un cuestionario de alta confiabilidad. “Micro-Hoek” fue evaluado positivamente por profesores y estudiantes, en las dimensiones acceso a los materiales, como también en el armado del mismo. Se concluye además que el modelo permite una visualización in situ de representaciones instrumentales de la célula y ofrece acceso a instrumental óptico de bajo costo en instituciones escolares.

PALABRAS CLAVE: Microscopio de bajo costo, aprendizaje móvil, biología, representación y modelización, educación básica.

ABSTRACT:

The teaching of biology and in particular of representations around phenomena on a microscopic scale represents a challenge for teachers, both because of the level of abstraction required, and because of the need for specific instruments that contribute to the construction of scientific representations in schools. This work presents the design and evaluation of a low cost microscope model, called "Micro-Hoek", in public school environments and with economic difficulties of access to adequate technical instruments. In the first part of the work a documentary analysis for the design of the "Micro-Hoek" is presented; and in the second part, the design and evaluation of the "Micro-Hoek" by 62 students of basic education and 23 teachers of basic education of public establishments of the Region of Coquimbo in Chile is presented. The participants elaborated the prototype that contemplates the use of cell phones and low-cost recyclable material, and later answered a highly reliable questionnaire. "Micro-Hoek" was positively evaluated by teachers and students, in the dimensions of access to materials, as well as in the assembly of the same. It is also concluded that the model allows an in situ visualization of instrumental representations of the cell and offers access to low cost optical instruments in school institutions.

KEYWORDS: Low cost microscope, mobile learning, biology, representation and modelling, basic education.

INTRODUCCIÓN

La expansión de tecnologías móviles es un fenómeno observado universalmente. En los últimos años el número de suscripciones móviles ha mostrado un crecimiento exponencial; por ejemplo y específicamente en Chile, existen 25,7 millones de celulares activos, de los cuales, dos de cada tres teléfonos son Smartphone o teléfonos inteligentes (SUBTEL, 2019). Éste crecimiento exponencial tanto de suscripciones como de acceso a dispositivos móviles es, a su vez, una realidad escolar: desde muy pequeños, los niños y niñas en edad escolar tienen acceso a teléfonos celulares, sin embargo, el uso de los dispositivos móviles en los establecimientos educacionales no está normado y es un gran desafío para construir experiencias de aprendizaje (Bano *et al.*, 2018). Si bien existen ensayos en los establecimientos escolares que acuden al aprendizaje móvil (m-learning) en el aula, su aplicación efectiva no ha sido generalizada en las escuelas y, a su vez, no existen políticas educativas eficaces para el m-learning (Milrad *et al.*, 2013).

Adherido a ello, se han identificado algunas dificultades en el uso de dispositivos móviles como recurso tecnológico al interior del aula, entre ellas:

- Algunas creencias de los docentes sobre el uso de las TIC podrían actuar como impedimentos para el desarrollo de m-learning (Ertmer y Ottenbreit-Leftwich, 2010).
- Escasa formación docente inicial y en servicio sobre el m-learning (Tondeur *et al.*, 2018).
- Falta de acceso a equipamiento tecnológico adecuado, o de infraestructura física o virtual (p.e., banda ancha) para su uso (Crompton, Burke y Gregory, 2017).

Éstas dificultades presuponen varios retos para la implementación de propuestas o estrategias de enseñanza en las que se pretenda utilizar la tecnología móvil, las cuales podrían beneficiar el desarrollo de aprendizajes a través de ofrecer experiencias enriquecedoras y motivantes para los estudiantes (González y Medina, 2018). A su vez, estos dispositivos pueden ofrecer acceso a los contenidos de forma sencilla y directa, y oportunidades para la construcción colectiva del conocimiento mediante la captura de video o imágenes de forma grupal en contextos educativos (Pachler *et al.*, 2010) como base para procesos de modelización y representación, mediante los cuales las y los estudiantes puedan poner a prueba, evaluar, criticar y modificar modelos científicos escolares (Gilbert y Justi, 2016, Ariza, Lorenzano y Adúriz-Bravo, 2016).

En este sentido, Ekanayake y Wishart (2014) señalan que el uso de imágenes y videos capturados con dispositivos móviles como recurso para la enseñanza pueden ayudar a los profesores no solo a traer el mundo exterior al aula, sino también a entregar instrucciones, regular y evaluar los aprendizajes de los estudiantes.

Específicamente en el aula de ciencias, el registro de datos, imágenes o videos usando dispositivos móviles resulta una herramienta útil en observaciones a escala macroscópica, por ejemplo, para el crecimiento de las plantas (Hartnell-Young y Heym, 2008), en situaciones de deterioro ambiental (Uzunboylu, Cavus y Ercag,

2009), o también a escala microscópica, por ejemplo, para la observación de células (Grilli, Laxague y Barboza, 2015).

Los microscopios en el aula de ciencias

En biología (como en otras disciplinas empíricas como la física o la química), el acceso a algunos fenómenos es limitado, entre otras cosas por sus dimensiones. En ese sentido, la comprensión de fenómenos microscópicos (físicos, químicos o biológicos) requieren de procesos de representación con altos grados de idealización o abstracción. En el caso particular de la enseñanza de la biología, el microscopio suele ser considerado un recurso fundamental para la construcción de representaciones alrededor de la biología celular y/o el modelo de célula.

El microscopio ha tenido un rol central en los procesos educativos, la selección de contenidos, estrategias y las actividades a realizar en el aula de biología; de hecho, la observación microscópica de muestras hace parte de las actividades prácticas que dan sentido y permiten comprender la enseñanza y el aprendizaje de la biología (Díaz de Bustamante y Jiménez Aleixandre, 1996). No es para menos, si se piensa en que el microscopio ha cumplido un rol esencial en la construcción de conocimiento en Biología, a través de la microscopía.

Uno de los principales hitos en la historia de la microscopía fue el modelo de microscopio simple construido en 1667 por Anton Van Leeuwenhoek, comerciante de telas holandés, quien consiguió observar pequeños animalculos que se estaban retorciendo. Actualmente sus hallazgos lo posicionan como el padre de la microbiología (Karamanou *et al.*, 2010).

En el contexto educativo, los microscopios son centrales en las prácticas de laboratorio que tienen como objetivo la observación de células animales o vegetales y la captura de representaciones instrumentales, es decir, imágenes obtenidas con la aproximación de cierto instrumento de origen técnico o tecnológico como las de aquellos “animalculos” observados por Leeuwenhoek a través de un microscopio simple. El microscopio permite la observación de células que miden entre 10 a 20 micras de diámetro (μm), lo que equivale más o menos a 5 veces menos que la partícula más pequeña visible a simple vista (Audesirk, Audesirk y Byers, 2003). Si bien la utilización de estos instrumentos es habitual para aproximarse a la construcción de representaciones como las del modelo de célula, cuando este recurso no se encuentra disponible la visualización de éstas estructuras, inaccesibles a simple vista, es ofrecida a través de los libros de texto, mediante una diversidad de materiales gráficos. Sin embargo, la visualización de estructuras tridimensionales mediante imágenes bidimensionales como las usadas en los libros de texto (esquemas, fotos o preparaciones para el microscopio óptico) es una de las dificultades encontradas en el aprendizaje de esta temática (Mengascini, 2006) pues los productos de la percepción e imagen visual pueden obtener una gran diferencia y generar obstáculos epistemológicos (Merino *et al.*, 2017); en consecuencia, la representaciones icónicas presentes en los libros de texto podrían ejercer una influencia negativa en la construcción de modelizaciones o representaciones internas escolares sobre la célula (Rodríguez Palmero, 2003).

Por otra parte, los textos escolares y las TIC (p.e., simulaciones) utilizan representaciones artísticas, como por ejemplo dibujos, esquemas o animaciones, para representar al modelo científico de célula (Galagovsky, Di Giacomo y Castelo, 2009). Un ejemplo de este tipo de representación podrían ser los dibujos de los pequeños animalculos realizados por Leeuwenhoek. Este tipo de dibujos, imágenes o simulaciones (en el caso de usar TIC) podrían entenderse como representaciones artísticas idealizadas de los fenómenos (Adúriz-Bravo y Ariza, 2014).

Sin embargo, en los libros de texto abundan representaciones estereotipadas o icónicas que tiene influencia en las representaciones científicas escolares (Rodríguez Palmero, 2003). En consecuencia, los estudiantes en distintos niveles educativos han desarrollado una representación de “huevo frito” de la célula que probablemente esté influenciada por las imágenes de los textos escolares (Mengascini, 2006; Camacho y Jara, 2013). El contenido de los textos escolares puede tener algunos errores conceptuales debido a una

mala traducción o un diseño basado en transposiciones didácticas deformantes del conocimiento científico (Occelli, Valeiras y Bernardello, 2015).

A su vez, la presencia de los teléfonos móviles en las prácticas de laboratorio a escala microscópica es usual debido a que el estudiantado puede generar y compartir sus propias fotografías. En el contexto universitario, Romanutti (2020) identificó que los estudiantes utilizan comúnmente la fotomicrografía para revisar y mejorar sus representaciones, así como también, difundir las imágenes en las redes sociales y construir saberes de manera colaborativa. Por su parte, Zuber, Vigliecca y Martín (2020), señalan que en la educación secundaria el uso de redes sociales como “Instagram”, puede servir para la divulgación y el trabajo colaborativo de representaciones artísticas e instrumentales generadas por los estudiantes.

En la educación básica o primaria, el uso de instrumentos de origen tecnológico (microscopio) y técnico (tinciones) resultan de gran utilidad para la enseñanza del modelo de célula. Sin embargo y como se mencionó en líneas anteriores, este tipo de trabajos prácticos de laboratorio en la ciencia escolar se ve inhibida por limitaciones en recursos e instalaciones, la falta de acceso a herramientas tecnológicas apropiadas, la escasa formación docente en prácticas de laboratorio y el excesivo número de estudiantes por curso (Fernández-Marchesi, Marcangeli y Romero, 2011).

Por ejemplo, en el estudio realizado por Ruščić *et al.* (2018) en Croacia, se estableció que la gran mayoría de las escuelas de primaria y secundaria poseen microscopios monoculares, no obstante, un tercio de ellos no funcionaban. En este mismo estudio, se identificó que más de la mitad del profesorado usa poco el microscopio para la enseñanza de la biología debido a la falta de un número suficiente de equipos tecnológicos.

La realidad en Latinoamérica no es muy distinta debido a que el 88% de los colegios públicos no cuentan con equipamiento tecnológico para realizar trabajos prácticos de laboratorio (Cabrol y Székely, 2012), este contexto suele ser el común denominador en Chile. Sin embargo, los programas de estudio de ciencias naturales de educación básica de Chile promueven el uso de los microscopios para la enseñanza de la biología celular. Específicamente en el eje temático “Ciencias de la Vida: Los sistemas en los seres vivos” impartido en Quinto básico (MINEDUC, 2016) y en el eje temático “Biología: Célula” desarrollado en Octavo básico (MINEDUC, 2018).

En ambos programas de estudio se proponen ejemplos de actividades relacionadas con la observación *in situ* de levaduras, protozoos ciliados, células vegetales y animales (corte transversal de testículos y ovario), a través del microscopio óptico. Sin embargo, la falta de microscopios o el alto costo asociado a su adquisición hace que este tipo de actividades sean escasas en los centros educativos escolares de Chile. Ello conlleva a que la visualización de representaciones instrumentales de la célula sea realizada a través de imágenes de los textos escolares o de un sitio web (con las dificultades asociadas que se mencionaron antes), y no mediante actividades de laboratorio que involucren a los estudiantes en la construcción y uso de equipamiento tecnológico para observar *in situ* el mundo microscópico y construir modelos científicos escolares para comprender, explicar y predecir los fenómenos que observan.

Por consiguiente, este trabajo tiene por objetivo diseñar y evaluar un modelo de microscopio a bajo costo “Micro-Hoek” mediada por el m-learning para la visualización de representaciones instrumentales de la célula en educación básica.

METODOLOGÍA

El presente trabajo tiene un enfoque exploratorio y cualitativo. Se organizó en dos fases consecutivas en relación al objetivo general: diseño y evaluación de un microscopio a bajo costo “Micro-Hoek”.

Para el diseño del modelo de microscopio se realizó un análisis documental proveniente de varias fuentes de información, entre ellos, artículos académicos, proyectos e iniciativas educativas, etc., que buscaban pesquisar prototipos de microscopios de bajo costo, en los últimos 20 años. De esta forma se identificaron un total de 15 microscopios de los cuales se seleccionaron 7 para este estudio. Se excluyeron los prototipos que

solo utilizaban lente y el Smartphone para observar microorganismos, los rediseños de microscopios digitales adquiridos en el comercio y los de alto costo monetario. Posteriormente, se realizaron las pruebas técnicas de materiales, con el fin de diseñar un modelo de microscopio económico y de fácil uso en contextos escolares.

El análisis y exploración documental también comprendió una revisión del currículum de educación básica chileno para identificar contextos de enseñanza adecuados para la utilización de este dispositivo. Así, identificamos que en Quinto básico se aborda la Unidad Pedagógica N°2, cuyo objetivo de aprendizaje (OA1) es reconocer y explicar que los seres vivos están formados por una o más células y que éstas se organizan en tejidos, órganos y sistemas (MINEDUC, 2018, p. 47). Como ejemplo de actividad para estos contenidos, se sugiere que los estudiantes observen y exploren a través de un microscopio óptico organismos unicelulares (levaduras) y tejidos de organismos multicelulares (tejido epidérmico vegetal). En el caso de Octavo básico en la Unidad Pedagógica N°2, se propone como objetivos de aprendizaje: (OA1) explicar que los modelos de la célula han evolucionado sobre la base de evidencias, como las aportadas por científicos como Hooke, Leeuwenhoek, Virchow, Schleiden y Schwann (MINEDUC, 2016, p.65); (OA2) desarrollar modelos que expliquen la relación entre la función de una célula y sus partes, considerando: sus estructuras, células eucariontes (animal y vegetal) y procariontes, tipos celulares (MINEDUC, 2016, p.65).

En la segunda fase del estudio, cuyo fin es evaluar el “Micro-Hoek”, se tuvo en cuenta lo propuesto por Arias (2012) en relación a la evaluación de un recurso tecnológico. Como técnica de recolección de datos se utilizó una encuesta tipo Likert, aplicando dos cuestionarios dirigidos a estudiantes y profesores; ambos instrumentos se elaboraron considerando las dimensiones desarrolladas por los autores Cybulski, Clements y Prakash (2014) y Rates (2015), las que consisten en: disponibilidad de materiales, claridad en instrucciones del manual de armado e interacción y recurso tecnológico.

Las encuestas se aplicaron en un solo momento y en un tiempo único, con miras a identificar fortalezas y aspectos a mejorar del microscopio. Los participantes construyeron y luego evaluaron el “Micro-Hoek”. La confiabilidad de los cuestionarios se midió por medio del estadístico Alfa de Cronbach, cuyo valor obtenido fue de 0,881 y 0,893 para el cuestionario de estudiantes y profesores, respectivamente, pudiendo advertirse que son considerablemente altos.

La muestra estuvo compuesta por estudiantes de quinto y octavo básico de una escuela pública del sector de Peñuelas, Comuna de Coquimbo, Chile (Figura 1), y profesores de ciencias naturales de la Comunidad de Aprendizaje de Río Hurtado y Monte Patria, ambas comunas rurales de la Región de Coquimbo. En el caso de los estudiantes, la experiencia fue desarrollada en el marco de la asignatura de ciencias naturales y en los profesores fue a través de talleres de educación en ciencias.



FIGURA 1
Estudiantes construyendo el modelo de microscopio.

La Tabla 1 sintetiza las características relevantes que describen la muestra bajo estudio, considerando particularmente el rango etario, género y la distribución de las muestras por curso y sector.

TABLA 1

Composición de la muestra de personas que participaron en la evaluación del modelo de microscopio

Encuestados	Número de encuestados	Rango etario	Género (%)	% por curso y sector
Estudiantes de enseñanza básica	62	10% de 10 años 42% de 11 años 6% de 12 años 10% de 13 años 13% de 14 años 16% de 15 años 3% de 16 años	42% F 58% M	58% de Quinto básico 42% de Octavo básico
Profesores de educación básica	23	35% menores de 30 años 65% mayores de 30 años	65% F 35% M	43% de Samo Alto 57% de Monte Patria
Total	85	85	85	85

RESULTADOS

A continuación, y respondiendo al objetivo de este trabajo, se presentan los resultados referidos al análisis de documentos y el diseño y evaluación del microscopio de bajo costo.

Microscopios a bajo costo

A partir del análisis documental realizado, tal como lo indica la Tabla 2, se han diseñado y construido distintos microscopios de bajo costo durante los últimos 20 años y que están disponibles en internet. Estos prototipos utilizan materiales de fácil acceso, económicos y fueron construidos, mejorados y replicados en distintos niveles educativos, investigaciones científicas y actividades de divulgación de las ciencias; con el objetivo de que los/as niños/as y jóvenes desarrollen su curiosidad y capacidad de visualización del mundo microscópico.

Por otra parte, los materiales más comunes que usaron los investigadores para la construcción del microscopio de bajo costo son los lentes ópticos y particularmente de tipo convergente. Estos lentes son más gruesos por el centro que por los bordes. Los rayos de luz que inciden paralelos al eje óptico convergen en el foco de la imagen. Este sistema óptico es la porción más importante del funcionamiento de los microscopios de bajo costo porque permite obtener imágenes aumentadas sobre estructuras que a simple vista no pueden distinguirse.

TABLA 2
Microscopios a bajo costo disponibles en Internet

Nombre	Característica	Materiales	Investigación
Microscopio simple	Microscopio simple basado en láser y una gota de agua suspendida que procede como una lente simple y permite obtener la sombra de microorganismos.	Jeringa, puntero láser, agua de charca, bloques de lego o madera y cinta adhesiva.	Planinsic (2001); García-Pomar y Cristobal (2015).
Microscopio de Leeuwenhoek	Microscopio simple formado por una única lente pequeña biconvexa, que se fabricó a partir de vidrio fundido y con materiales de fácil adquisición.	Varilla de vidrio, mechero, lámina de plástico opaca y flexible, cinta adhesiva, alfileres, lupa cuenta-hilos y alfiler.	Garrido y Barcia (2011).
Microscopio de DVD (OPH)	Microscopio que utiliza dos lentes ópticos adquiridos del cabezal de captación óptica de DVD (OPH) de un computador obsoleto.	Lentes de captación óptica de DVD (OPH), lámpara halógena, un computador con monitor LCD, fotodiodo, espejo y cámara CCD.	Hong, Kang y Kim (2013)
Microscopio Yoshino	Modelo adaptador de microscopio digital para Smartphone “Hazlo tú mismo” de bajo costo, donde resalta el uso de un lente de puntero láser y la cámara de dispositivos móviles.	Puntero láser, pernos, tuercas, tuercas mariposa, golillas, retazo de madera laminada, retazo acrílico y luz LED.	Yoshino (2013); Rates (2015).
Foldscope	Microscopios de campo claro, campo oscuro y fluorescencia basado en origami que tiene un aumento de 140X y una resolución 2 μm.	Papel (400 cm ²), lentes de bola, LED blanca estándar, pila de botón de 3V, cinta adhesiva, interruptor deslizante eléctrico y cinta de cobre.	Cybulski, Clements y Prakash (2014).
Microscopio simple	Microscopio simple recreado a partir del funcionamiento del microscopio de Leeuwenhoek.	Lente de teléfono celular, placas de aluminio, tornillos, tuercas, arandelas, linterna y espejo pequeño.	Cybulski y Schamme (2014).
Microscopio simple	Réplica del microscopio simple de Brown pero utiliza como lente microesferas de vidrio utilizadas para pintura reflectantes.	Microesfera de vidrio, láminas de aluminio, bisagra, espejo, tornillos	Del Mazo (2018).

A su vez, los prototipos analizados utilizan comúnmente una fuente de luz para iluminar la muestra biológica. En microscopía, la luz transmitida es muy efectiva para ver muestras que son delgadas y transparentes, pues la muestra biológica solo es visible si deja pasar la luz al sistema óptico de lentes.

En consecuencia, se optó por un diseño que tiene cuenta la utilización de lentes ópticos obtenidos de cabezales de DVD o CD de computadores en desuso y un LED de bajo potencial eléctrico, ya que son de más de fácil adquisición en la educación escolar.

Diseño generado

El modelo de microscopio a bajo costo se denominó “Micro-Hoek”, por Anton van Leeuwenhoek, y en su diseño se acude al uso de materiales reciclables de poco valor monetario, de fácil adquisición en entornos escolares y adaptables a cualquier dispositivo móvil. Este modelo permitió visualizar representaciones instrumentales a escala microscópica. Los materiales (Figura 2) que se utilizaron para su elaboración son los siguientes:

- Un lente llamado “ojo de pez” que se obtiene del lector de disco compacto de CD o DVD de un computador en desecho (a).
- Dos tubos de papel higiénico normal (b y c).
- Un palito de helado (d).

- Una luz LED blanca nueva de 3 voltios (c).
- Una pila CR2016 de 3 voltios, adquirida en el comercio o extraída de algún computador en desecho (c).
- Dos trozos de elástico de algodón (11 cm.) (e).
- Cinta adhesiva (c).
- Un dispositivo móvil (e y f).

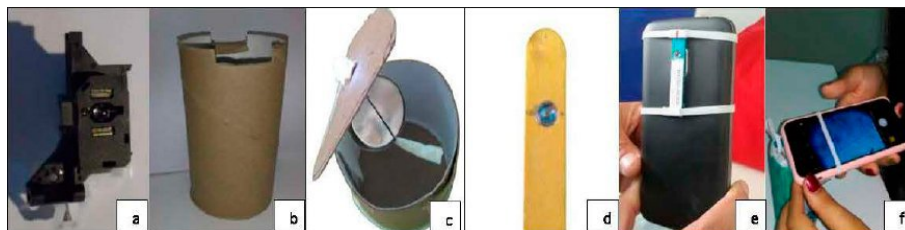


FIGURA 2
Materiales utilizados para la construcción de “Micro-Hoek”.

Dicho lo anterior, los únicos materiales que fueron comprados son la luz LED de un precio comercial de 0,63 USD, la pila CR2016 de 3 voltios de un valor comercial de 0,57 USD, elástico de algodón y cinta adhesiva. El costo por unidad no supera los dos dólares.

Por otra parte, para asegurar la permanencia y factibilidad de implementación en el currículum de este recurso tecnológico, se diseñó un manual de construcción de “Micro-Hoek”, disponible de forma libre en la web ^[1], en donde se detalla el armado del modelo de microscopio (Figura 3). Además, se diseñó una guía de laboratorio de muestras biológicas al fresco, teniendo en cuenta tinciones básicas de laboratorio y las directrices del Marco Curricular de Chile de Quinto y Octavo básico.

El sistema óptico de un microscopio es similar al de “Micro-Hoek” y solo se diferencia en el lente ocular de un microscopio óptico que es reemplazado por el lente de la cámara del dispositivo móvil. La imagen es capturada por el sensor del dispositivo móvil y la podemos ver proyectada por su pantalla con una magnificación aproximado de 175x. Este aumento total es mayor al que tiene el lente “2” de un microscopio óptico de campo claro, cuyo aumento total es de 100x (Hong, Kang y Kim, 2013; Rates, 2015; Yoshino, 2017).

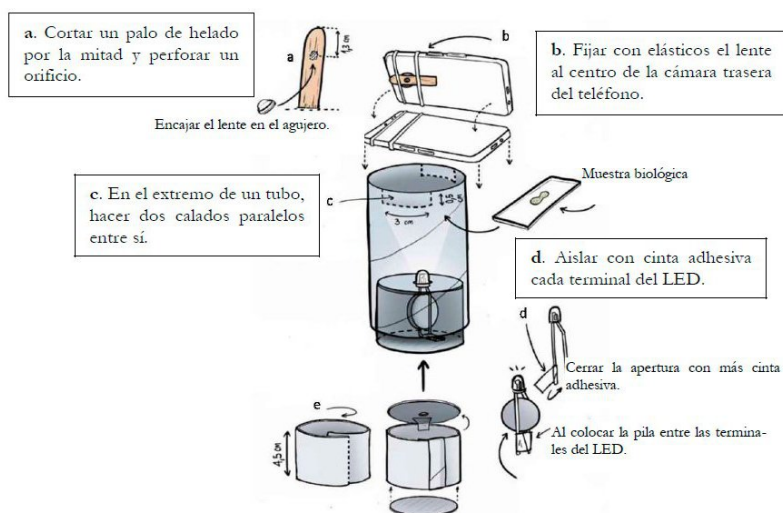


FIGURA 3
Armado de “Micro-Hoek”.
Fuente: LUN (2018).

Uso de “Micro-Hoek”

Tal como lo muestra la Figura 4, los estudiantes que fueron parte de la investigación armaron el “Micro-Hoek” para luego visualizar representaciones instrumentales de células vegetales de hoja de agapanto (muestra biológica al fresco), células epiteliales de mucosa bucal (muestra biológica al fresco) y túbulos seminíferos de conejo (muestra biología fija).

En los túbulos seminíferos se producen los espermatozoides y su diámetro oscila entre 150 a 250 μm (micrómetros). Las paredes de los túbulos seminíferos están recubiertas por células de Sertoli y espermatogonios (Figura 5) que sufren la división meiótica (Audesirk, Audesirk y Byers, 2003).

En la Figura 5 se muestra un corte histológico de testículo de conejo con distinta magnificación. La primera imagen (5a) tiene un zoom de 6x con solo el uso del Smartphone, la segunda imagen (5b) se obtiene a partir del uso de “Micro-Hoek” y el zoom de 1x del Smartphone y la tercera imagen (5c) se alcanza con el uso de “Micro-Hoek y el zoom de 6x del Smartphone logrando una magnificación aproximada de 175x.

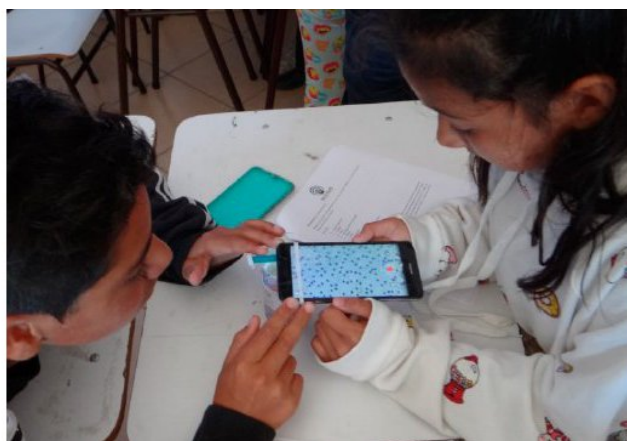


FIGURA 4
Estudiantes visualizando células vegetales de hoja de agapanto.

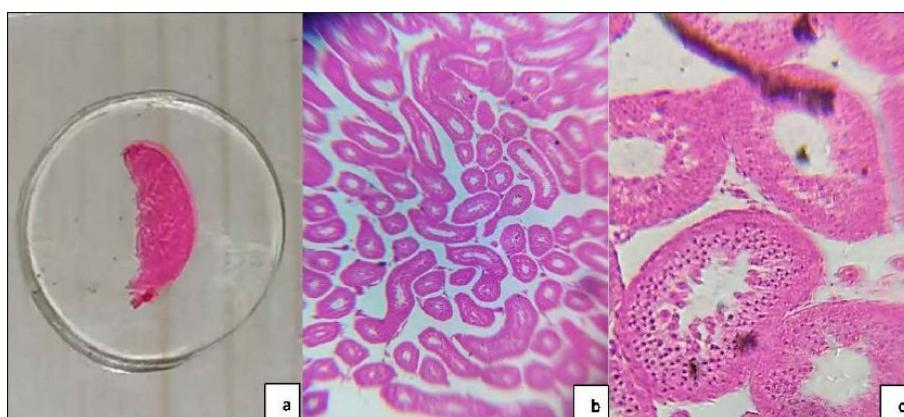


FIGURA 5
Túbulos seminíferos de conejo teñidos con hematoxilina-eosina.

A su vez, es importante destacar la calidad de la imagen obtenida por parte de los estudiantes al utilizar Micro-Hoek y la imagen obtenida de un microscopio óptico convencional que tiene un costo de mercado de 331 USD (Figura 6).

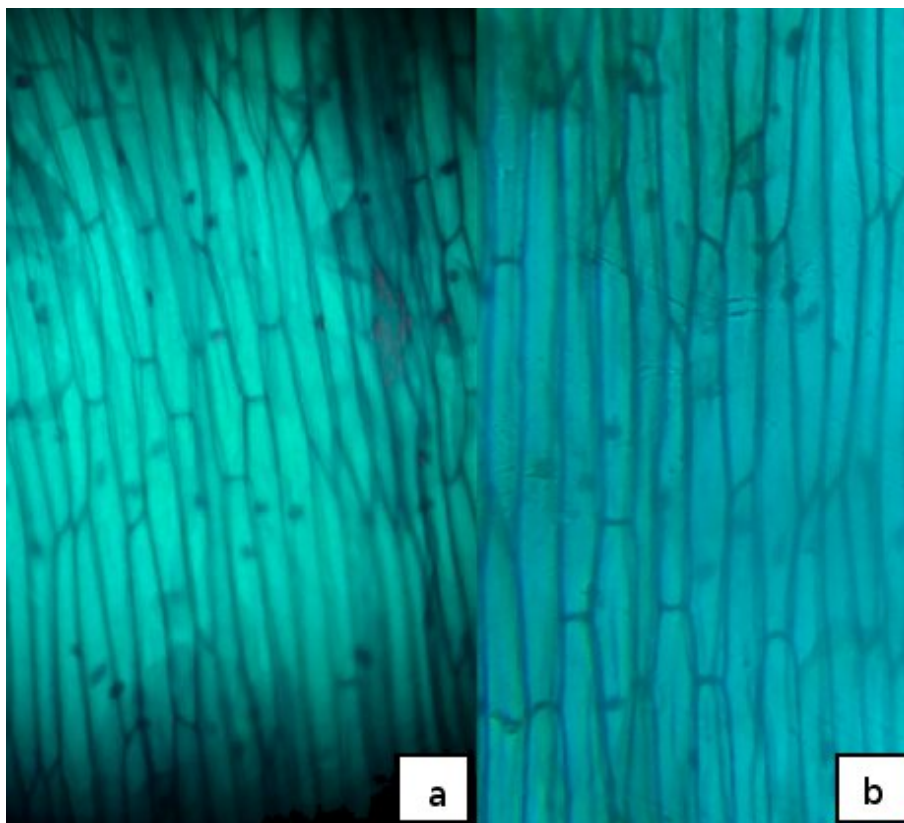


FIGURA 6.
Comparación de la imagen de células epidérmicas de cebolla capturada por un microscopio óptico Leitz Wetzlar (a) y Micro-Hoek (b).

Análisis de estadística descriptiva

Disponibilidad de materiales

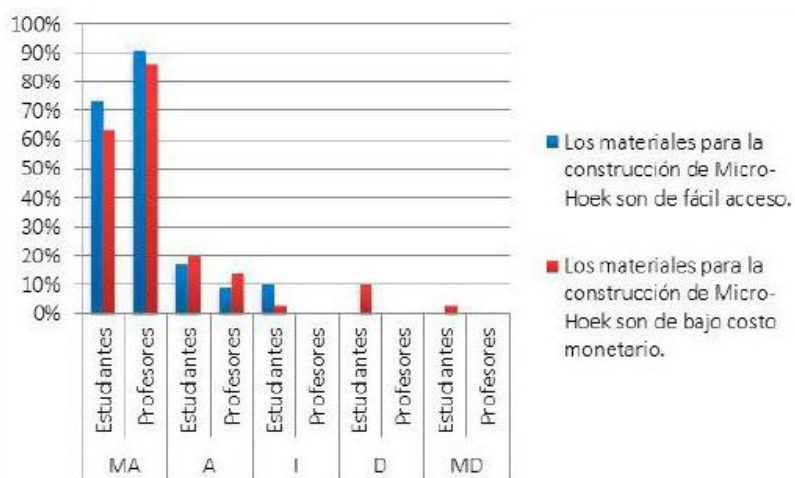


FIGURA 7
Materiales de construcción del modelo de microscopio.

En la figura 7 se identifica que un 73% y 17% de los estudiantes están “Muy de Acuerdo” y “Acuerdo” con la afirmación “*los materiales para la construcción de “Micro-Hoek” son de fácil acceso*”, mientras el 91% y 9% de los profesores están “Muy de Acuerdo” y “Acuerdo”, respectivamente.

Asimismo, en esta figura se expresó la aseveración “*los materiales para la construcción de “Micro-Hoek” son de bajo costo monetario*”. En el caso de los estudiantes un 63% y 20% expresaron estar “Muy de Acuerdo” y “Acuerdo”, mientras el 86% y 14% de los profesores opinaron estar “Muy de Acuerdo” y “Acuerdo”.

Claridad en las instrucciones del manual

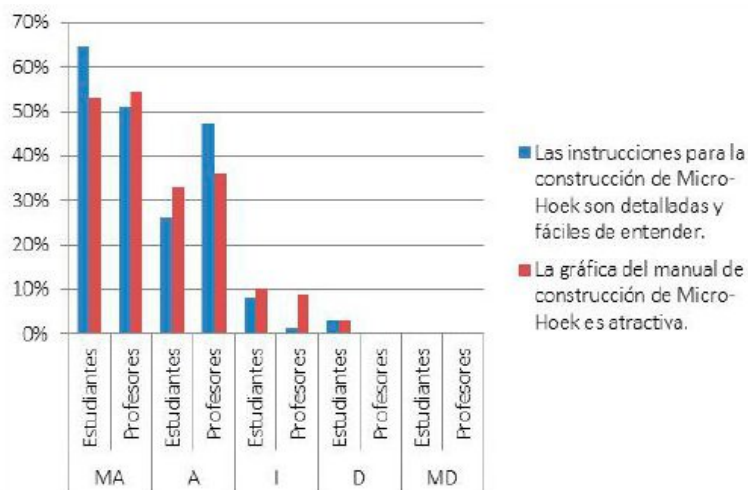


FIGURA 8 Instrucciones de construcción de “Micro-Hoek”.

La figura 8 evidenció que un 65% y 26% de los estudiantes están “Muy de Acuerdo” y “Acuerdo” con la afirmación “*las instrucciones para la construcción de “Micro-Hoek” son detalladas y fáciles de entender*”, mientras el 51% y 48% de los profesores están “Muy de Acuerdo” y “Acuerdo”, respectivamente.

Igualmente, en esta figura se expresó la aseveración “*la gráfica del manual de construcción de “Micro-Hoek” es atractiva*”. En el juicio de los estudiantes un 53% y 33% expresaron estar “Muy de Acuerdo” y “Acuerdo”, mientras el 55% y 36% de los profesores opinaron estar “Muy de Acuerdo” y “Acuerdo” con dicha afirmación.

Armado e interacción - Estudiantes

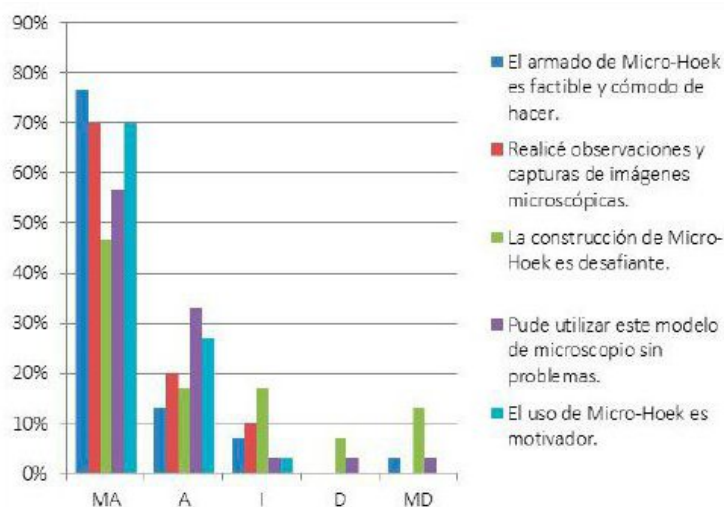


FIGURA 9
Construcción y uso de "Micro-Hoek".

La figura 9 muestra que un 77% y 13% de los estudiantes están "Muy de Acuerdo" y "Acuerdo" con la aseveración "el armado de "Micro-Hoek" es factible y cómodo de hacer". Un 70% y 20% de los estudiantes están "Muy de Acuerdo" y "Acuerdo" con la afirmación "realicé observaciones y capturas de imágenes microscópicas".

Además, con la aseveración "la construcción de "Micro-Hoek" es desafiante", un 47% y 17% de los estudiantes están "Muy de Acuerdo" y "Acuerdo", respectivamente. También, un 57% y 33% de los estudiantes están "Muy de Acuerdo" y "Acuerdo" con la aseveración "pude utilizar este modelo de microscopio sin problemas". Finalmente, con la afirmación "el uso de "Micro-Hoek" es motivador", un 70% y 27% están "Muy de Acuerdo" y "Acuerdo", respectivamente.

Recurso tecnológico - profesores

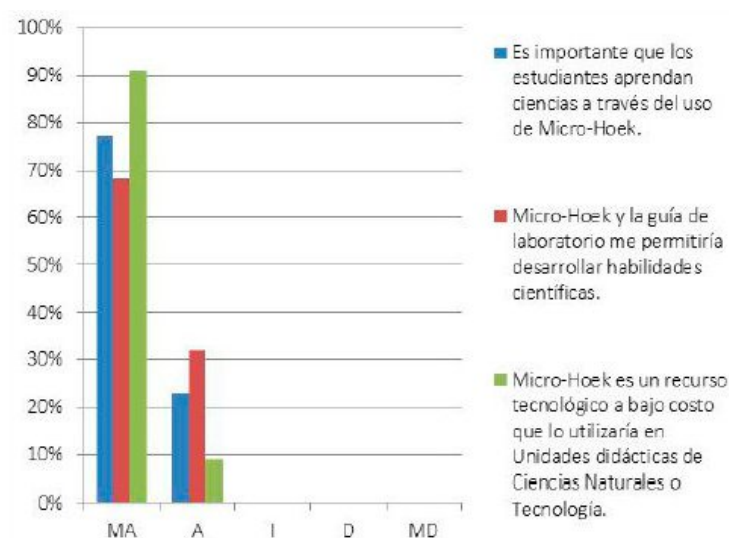


FIGURA 10
Valorización de "Micro-Hoek" como recurso tecnológico.

La figura 10 evidenció que un 77% y 23% de los profesores están “Muy de Acuerdo” y “Acuerdo” con la afirmación “*es importante que los estudiantes aprendan ciencias a través del uso de “Micro-Hoek”*”. Además, con la aseveración “*“Micro-Hoek” y la guía de laboratorio me permitiría desarrollar habilidades científicas*”, un 68% y 32% de los profesores están “Muy de Acuerdo” y “Acuerdo”, respectivamente.

Finalmente, un 91% y 9% de los profesores están “Muy de Acuerdo” y “Acuerdo” con la afirmación “*“Micro-Hoek” es un recurso tecnológico a bajo costo que lo utilizaría en Unidades didácticas de Ciencias Naturales o Tecnología*”.

Dentro de los hallazgos hay un menor porcentaje de los estudiantes que declararon estar en desacuerdo con que este microscopio es fácil de manipular, evidencia que permite retroalimentar en materia de diseño y materiales. Cabe señalar que en materia de innovación la validación es una etapa fundamental e implica un relevante desafío tecnológico más aun en el área de la educación pública.

CONCLUSIONES

La enseñanza de la biología a escala microscópica mediada por el m-learning es una alternativa interesante, tanto para profesores que buscan alternativas en épocas de virtualidad y en algunos casos de limitantes económicas, como para las y los estudiantes, quienes pasan largas horas utilizando sus teléfonos móviles no sólo en el contexto de su vida cotidiana, sino también durante el tiempo dedicado a los aspectos escolares. Por otra parte, el uso de microscopios en los procesos de enseñanza y aprendizaje de la biología celular, ha sido un privilegio para ciertos establecimientos educacionales que cuentan con recursos económicos; por lo que la construcción de representaciones científicas escolares por parte de una buena cantidad de estudiantes surge de representaciones estáticas y algunas veces estereotipadas, encontradas en los libros de texto.

En este contexto, el diseño de “Micro-Hoek”, no parte de cero, sino desde el trabajo previo de otros científicos o educadores que avanzaron en prototipos de bajo costo con mayor o menor éxito. “Micro-Hoek” significó un innovador avance en la visualización de las células y sus estructuras por parte de los participantes de este estudio, muchas/os de las/os estudiantes que han elaborado y utilizado el Micro-Hoek, señalaron que era la primera vez que visualizaban *in situ* células estomáticas de plantas o células epiteliales de mucosa bucal.

Es relevante señalar que “Micro-Hoek” ha sido presentado a varias escuelas y universidades, y su manual de construcción tiene más de 10.000 descargas en ResearchGate. Pese a que el trabajo de campo del presente estudio se realizó meses antes que la pandemia del Covid-19 llegara a América Latina, su diseño ha sido difundido y replicado en numerosos sitios a través de internet, en un contexto (algunas veces) de confinamiento total, avizorando que el uso accesible de la tecnología sigue siendo fundamental en la enseñanza de la ciencia, tanto en forma presencial como virtual.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adúriz-Bravo, A., Ariza, Y. (2014) Una caracterización semanticista de los modelos científicos. *Biografía-Escritos sobre la biología y su enseñanza* 7(13), 25-34. <https://doi.org/10.17227/20271034.vol.7.num.13bio-grafia25.34>
- Arias, F. G. (2012) *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica*. 6ta. Edición. Caracas: Editorial Episteme.
- Ariza, Y., Lorenzano, P., Adúriz-Bravo, A. (2016) Meta-theoretical contributions to the constitution of a model-based didactics of science. *Science & Education* 25(7), 747-773.
- Audesirk, T., Audesirk, G., Byers, B. E. (2003) *Biología: la vida en la tierra*. México, D.F.: Pearson educación.
- Bano, M., Zowghi, D., Kearney, M., Schuck, S., Aubusson, P. (2018) Mobile learning for science and mathematics school education: A systematic review of empirical evidence. *Computers & Education* 121, 30-58. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.02.006>
- Cabrol, M., Székely, M. (2012) *Educación para la transformación*. Washington, DC: BID.

- Camacho, J., Jara, N. (2013) Modelos estudiantiles acerca de la estructura de la célula. Un análisis desde la historia de la Biología. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas* (Extra), 589-594. <http://bit.ly/2Y0QuCb>
- Crompton, H., Burke, D., Gregory, K. H. (2017) The use of mobile learning in PK-12 education: A systematic review. *Computers & Education* 110, 51-63. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.03.013>
- Cybulski, J. S., Clements, J., Prakash, M. (2014) Foldscope: origami-based paper microscope. *PLoS one* 9(6), e98781. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0098781>
- Cyrulies, E., Schamne, M. (2014) Construcción de un microscopio simple con la lente de un teléfono celular. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 11(2), 263-268. <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/2880>
- Del Mazo, A. (2019) Microscopio simple. Mucho más que una simple lupa. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 16(2), 2401. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i2.2401
- Díaz de Bustamante, J., Jiménez Aleixandre, M. P. (1996) ¿Ves lo que dibujas? Observando células con el microscopio. *Enseñanza de las Ciencias* 14(2), 183-194. <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21448>
- Ekanayake, S., Wishart, J. (2014) Mobile phone images and video in science teaching and learning. *Learning, Media and Technology* 39(2), 229-249. <https://doi.org/10.1080/17439884.2013.825628>
- Ertmer, P. A., Ottenbreit-Leftwich, A. T. (2010) Teacher technology change: How knowledge, confidence, beliefs, and culture intersect. *Journal of research on Technology in Education* 42(3), 255-284. <https://doi.org/10.1080/15391523.2010.10782551>
- Fernández-Marchesi, N., Marcangeli, M., Romero, C. (2011) Análisis de las estrategias de enseñanza de los docentes de ciencias naturales en dos escuelas públicas medias de tierra del fuego. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED* 44, 1381-1386. <https://cutt.ly/6jmwOaX>
- Galagovsky, L., Di Giacomo, M. A., Castelo, V. (2009) Modelos vs. Dibujos: el caso de la enseñanza de las fuerzas intermoleculares. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* 8(1), 1-22. http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen8/ART1_Vol8_N1.pdf
- García-Pomar, J. L., Cristóbal, G. (2015) *Microscopio simple basado en láser y una gota de agua*. https://www.sedoptica.es/Menu_Volumenes/Pdfs/OPA48-2-115.pdf (acceso en diciembre del 2020).
- Garrido, B. G., Barcia, M. (2011), Microscopio de Leeuwenhoek. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 8, 487-490. <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/2742>
- Gilbert, J., Justi, R. (2016) Models of modelling. En Gilbert, J., Justi, R. (ed.). *Modelling-based teaching in science education* (pp. 17-40). Cham: Springer.
- González, R. M., Medina, G. D. C. (2018) Uso de dispositivo móviles como herramientas para aprender. *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación* 52, 217-227. <http://dx.doi.org/10.12795/pixelbit.2018.i52.15>
- Grilli, J., Laxague, M., Barboza, L. (2015) Dibujo, fotografía y Biología. Construir ciencia con ya partir de la imagen. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 12, 91-108. <https://revistas.uca.es/pre/index.php/eureka/article/view/2904>
- Hartnell-Young, E., Heym, N. (2008) *How mobile phones help learning in secondary schools*. Coventry: Becta.
- Hong, D. H., Kang, M. I., Kim, S. W. (2013) Development of a low-cost microscope using a DVD optical pickup head. *Optik* 124(15), 2089-2092. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2012.06.052>
- Karamanou, M., Poulakou-Rebelakou, E., Tzetis, M., Androutsos, G. (2010) Anton van Leeuwenhoek (1632-1723): father of micromorphology and discoverer of spermatozoa. *Revista Argentina de microbiología* 42(4), 311-314. <https://www.redalyc.org/pdf/2130/213016779013.pdf>
- Las Últimas Noticias (2018, 3 de diciembre) *Aprenda a transformar el celular en un potente microscopio*. <https://bit.ly/2Y0entf>

- Mengascini, A. (2006) Propuesta Didáctica y dificultades para el aprendizaje de la organización celular. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 3(3), 485-495. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2006.v3.i3.09
- Merino, C., González A., Lizama, P., Pino, S. (2017) Contracción cardíaca y la promoción de la visualización a través de una secuencia con realidad aumentada. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas* (Extra), 4445-4452. <https://bit.ly/3e2RR8S>
- Milrad, M., Wong, L., Sharples, M., Hwang, G., Looi, C., Ogata, H. (2013) Seamless learning an international perspective on next-generation technology-enhanced learning. In Berge, Z. L., Muilenburg, L. Y. (Eds.). *Handbook of mobile learning* (pp. 95-108). New York: Routledge.
- Ministerio de Educación. (2016) *Ciencias Naturales, Programa de Estudio para Octavo año Básico*. Santiago: MINEDUC.
- Ministerio de Educación. (2018) *Ciencias Naturales, Programa de Estudio para Quinto año Básico*. Santiago: MINEDUC.
- Ocelli, M., Valeiras, N., Bernardello, G. (2015) La biotecnología en libros de texto de escuela secundaria: un análisis de los libros utilizados en Córdoba (Argentina). *Revista electrónica de investigación en educación en ciencias* 10(1), 34-44. <https://bit.ly/2YAqc8B>
- Pachler, N., Bachmair, B., Cook, J., Kress, G. (2010) *Mobile learning*. New York, NY: Springer.
- Planinsic, G. (2001) Water-drop projector. *The physics teacher* 39(2), 76-79. <https://doi.org/10.1119/1.1355162>
- Rates, D. (2015) *Diseño de una clase cero a la unidad de óptica para la escuela secundaria del siglo XXI* (Tesis de grado no publicada). Concepción: Universidad de Concepción.
- Rodríguez Palmero, M. L. (2003) La célula vista por el alumando. *Ciência & Educação* 9(2), 229-246. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132003000200006>
- Romanutti, A. (2020) *Las representaciones externas en el aprendizaje de las ciencias biológicas en el aula universitaria* (Disertación tesis de maestría no publicada). Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba
- Ruščić, M., Vidović, A., Kovačević, G., Sirovina, D. (2018) The use of microscope in school biology teaching. *Resolution and Discovery* 3(1), 13-16. <https://doi.org/10.1556/2051.2018.00054>
- Subsecretaría de Telecomunicaciones. (2019) *Estadística de abonados móviles*. <https://bit.ly/2OUyO6s>
- Tondeur, J., Aesaert, K., Prestridge, S., Consuegra, E. (2018) A multilevel analysis of what matters in the training of pre-service teacher's ICT competencies. *Computers & Education* 122, 32-42. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.03.002>
- Uzunboylu, H., Cavus, N., Ercag, E. (2009) Using mobile learning to increase environmental awareness. *Computers & Education* 52(2), 381-389. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2008.09.008>
- Yoshino, K. (2013) *\$10 smartphone to digital microscope conversion!* <https://bit.ly/2MUvqH7>
- Yoshino, K. (2017) Making science more accessible: DIY smartphone conversion brings microscopy to the masses. *International Journal on Innovations in Online Education* 1(1). <https://cutt.ly/Ljmr9dC>
- Zuber, S., Viglicca, F., Martín, R. (2020) Cierren carpetas y saquen los celulares. Potencialidades de Instagram para la enseñanza de diversidad biológica en segundo año de Educación Secundaria. *Revista de Educación en Biología* 23(1), 21-34. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaadbia/article/view/27092>

NOTAS

[1] Ver: <https://bit.ly/2Y0entf>

INFORMACIÓN ADICIONAL

Para citar este artículo: Rodríguez-Malebrán, M., Mundaca Maldonado, E., Occelli, M. y Ariza, Y. (2022) Diseño y evaluación de “Micro-Hoek”: un microscopio a bajo costo con teléfonos móviles para la educación básica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 19(2), 2202 . doi: 10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2022.v19.i2.2202