



ARTÍCULO ORIGINAL

La modelización en morfología y biología celular en el proceso de enseñanza-aprendizaje en las ciencias básicas en la formación médica

Modeling in morphology and cellular biology as a teaching-learning activity in basic sciences in the medical formation

Luz Marina Cano Molano^{1,*}, Sandra Isabel¹, Enciso Galindo¹, Jaime Andrés Gutiérrez Quintero¹, Martha Osorio de Sarmiento¹

¹Fundación Universitaria Juan N. Corpas (FUJNC), Bogotá, Colômbia.

INFORMACIONES GENERALES

Recibido en: febrero de 2017
Aceptado en: mayo de 2017

Palabras-Clave:
Modelización
Ciencias básicas
Proceso enseñanza-aprendizaje

Keywords:
Modeling
Basic sciences
Teaching-learning process

* **Correspondência:**
Carrera 111, 159-61
Bogotá - Colômbia - 111161
e-mail: luz.cano@juanncorpas.edu.com

doi: 10.21876/rcsfmit.v7i3.677

RESUMEN

Introducción: Los procesos de enseñanza aprendizaje de las ciencias básicas tienen diferentes estrategias didácticas que permiten el desarrollo de las competencias de las asignaturas para la formación médica. Con el estudio teórico toda la tarea recae sobre la memoria y la imaginación, al contrario de lo que sucede si el trabajo se realiza de forma activa y las diferentes actividades realizadas requieren de todas las habilidades y sentidos. **Objetivos:** Evaluar el desempeño académico del estudiante cuando construye y sustenta un modelo tridimensional en las áreas de Biología Celular y Morfofisiología correlacionándolo con el examen oral. **Métodos:** Se realizó una encuesta de percepción estudiantil y se comparó con un *t*-student que permitió evaluar el impacto de la modelización en el rendimiento académico de los estudiantes. **Resultados:** La mediana del modelo fue de 3.38 y la mediana del examen oral fue de 3.75; existiendo una correlación del 84% entre la nota del modelo y el examen oral, con un coeficiente de correlación de Pearson 0.85 con una $p=0.000$, estadísticamente significativa. **Conclusión:** La actividad académica de construcción de modelos tridimensionales en las áreas de Biología Celular y Morfofisiología para el desarrollo de la comprensión de estructuras complejas mejora la capacidad de integración y argumentación de los contenidos de estas asignaturas.

ABSTRACT

Introduction: The learning processes of the basic sciences have different teaching strategies that allow the development of the competences of the subjects for the training of practioners. With the theoretical study, the whole task falls on memory and imagination, unlike what happens if the work is done in an active way and the different activities performed require all the skills and senses. **Aims:** To evaluate the student's academic performance when constructing and sustaining a three-dimensional model in the areas of Cell Biology and Morphology and correlate these with the oral exam. **Methods:** A student perception survey was conducted and compared with the one of a T-student that allowed the evaluation of the impact of the modelling on students' academic performance. **Results:** The average of the model was 3.38 and the average of the oral test was 3.75. There was a correlation of 84% between the model note and the oral test, with a correlation coefficient of Pearson of 0.85 with a statistical significance $p=0.000$. **Conclusion:** The academic activity of construction of three-dimensional models in the areas of Cellular Biology and Morphology for the development of the compression of complex structures improves the capacity of integration and argumentation of the contents of these subjects.

Introducción

Los conceptos científicos son generados, expresados, comunicados y representados en tres niveles: macroscópico, microscópico y simbólico. Si bien se concibe la materia, en estos niveles la instrucción en general se sitúa en el nivel simbólico que es en el que se construyen las explicaciones. A este nivel es que los estudiantes pueden tener problemas para relacionar la descripción de los fenómenos y las herramientas intelectuales que se usan para explicarlos.¹ En este sentido, los modelos son un elemento fundamental para el aprendizaje. Se ha evidenciado la influencia del uso de modelos en el aprendizaje, es así como Kelly y Jones² buscaron determinar si la observación de animaciones, aislada de otras intervenciones, permitía a estudiantes universitarios, construir explicaciones a nivel fenomenológico, encontrando que éstas deben estar asociadas a otras actividades para que sean eficaces. El uso de modelos activa los mecanismos analógicos de los estudiantes, permitiendo comparar dos o más dominios del conocimiento. Entre más relaciones se establezcan, más fructífero es el proceso de aprendizaje.³

Tasker & Dalton,⁴ buscaron caracterizar qué tipo de modelaciones son útiles para solucionar los errores de los estudiantes en lo que respecta a representaciones y concepciones microscópicas de la materia, encontrando que no es suficiente con que el modelo sea coherente con el saber establecido, sino que debe ser claro en los aprendizajes que se esperan lograr y en cómo ese modelo es extrapolable a otras situaciones. "El estudiante no solamente mira, oye y memoriza; él hace. Su propia actividad en el laboratorio y en la clínica son los factores principales en su instrucción y formación disciplinaria".⁵

Este planteamiento deja sobre la mesa una realidad la cual es la necesidad de que el estudiante sea el responsable de su proceso de aprendizaje, que él sea el actor principal, que realice las actividades y sea capaz de argumentar frente a su proceso formativo, sin embargo la personalización del aprendizaje se ve obstaculizada cuando por tener un número elevado de estudiantes se realizan la mayoría de las actividades de tipo expositivo⁶ problema que tienen la mayoría de las facultades de medicina, éstas cuentan con un gran volumen de estudiantes por semestre, así que la personalización se sacrifica frente a la cantidad, por ello muchas asignaturas han optado por el desarrollo de conferencias o clases magistrales, lo que genera una problemática y es la falta de apropiación⁷ de los contenidos por un buen número de los estudiantes, o el poco reconocimiento por parte de los docentes de lo que realmente se apropia, así que en la mayoría de los casos se estudia para pasar pero no realizando un proceso de deconstrucción del saber disciplinar y construcción individual. La falta de apropiación de los conocimientos ha demostrado cómo los conceptos fundamentales no se interconectan con nuevos conceptos, no se crean redes significativas, ni se genera aprendizaje significativo que puede ser interconectado y utilizado posteriormente^{8,9} lo que los llevaría a un aprendizaje significativo y un razonamiento crítico, que se refleja en cursos posteriores en donde es necesaria la aplicación de los conocimientos de las ciencias básicas y la resolución de problemas en contextos clínicos específicos.

A partir de esta problemática es indispensable pensar en herramientas que permitan la apropiación de los conceptos que desde las ciencias básicas posteriormente van a ser claves en el desarrollo profesional y en la formación de competencias específicas, desde esta perspectiva el uso de la modelización en ciencias como herramienta didáctica, particularmente en las áreas de Morfología y Biología Celular nos permite acercarnos de diferentes formas al paradigma del *cáda-ver* y el microscopio el cual está pensado desde la necesidad de la práctica para el desarrollo de competencias en las áreas anteriormente mencionadas, más cuando el recambio *cadavérico* o las prácticas de laboratorio son insuficientes en nuestro contexto, este proceso de modelización permite la construcción y uso del modelo para la apropiación de los conocimientos, la generación de explicaciones cada vez más argumentadas y el trabajo en equipo.¹⁰

La aplicación de los conocimientos a la práctica, ser capaz de utilizar los modelos teóricos o el uso de maquetas o prototipos y aprender a utilizar el lenguaje científico básico para su comunicación son habilidades indispensables para el logro de las competencias en la formación médica, lo que permitirá en el futuro analizar diferentes estructuras anatómicas y celulares para la interpretación en diferentes procedimientos diagnósticos por imagen como la tomografía computarizada y la resonancia magnética, entre otras.¹¹

La evaluación de la aplicación del proceso de modelización en la práctica profesional docente para la formación médica permite identificar cuáles son los aspectos que se fortalecen en el proceso metacognitivo, la formación de competencias y la resolución de problemas al utilizar esta herramienta en el desarrollo de las ciencias básicas.

Métodos

Se realiza un estudio mixto; observacional, descriptivo, tipo corte transversal. Se propuso el análisis de las valoraciones obtenidas en el modelo -y su sustentación grupal- y la evaluación individual oral por los estudiantes de segundo y cuarto semestre que se encontraban cursando Biología Celular y Morfología respectivamente en el período académico 2015-2, contrastando estos resultados con la percepción estudiantil frente al uso de modelos en la apropiación de los conceptos desarrollados en las asignaturas analizadas, este estudio se realiza en una de las facultades de medicina de la ciudad de Bogotá, Colombia.

El curso de Biología Celular hace parte del ciclo de fundamentación y al eje de formación: Estructural, que se encuentra en el segundo semestre de la carrera, con un total de cuatro créditos.

El curso de morfología hace parte del ciclo de fundamentación y al eje de formación: Estructural, que se encuentra distribuido entre el tercer y cuarto semestre, con un total de ocho créditos (cuatro para tercer semestre y cuatro para cuarto semestre), para el estudio se analizaron los resultados de los estudiantes de cuarto semestre.

El universo total de estudiantes era de 300 estudiantes, de los cuales 150 estudiantes eran de morfofisiología y 150 estudiantes eran de biología celular. Sin embargo, se excluyeron 33 encuestas de estudiantes, por un diligenciamiento deficiente o erróneo, por lo que el total de nuestra muestra fue de 267.

Para el desarrollo del estudio, por lo tanto, se definen como variables de análisis la valoración del modelo, del examen oral y la percepción de los estudiantes frente al uso de los modelos en el aprendizaje efectivo.

Para la construcción del modelo, los estudiantes son distribuidos por grupos, cada grupo tiene entre cuatro o cinco estudiantes; estos grupos son asignados de acuerdo a una lista en la cual los apellidos se distribuyen en orden alfabético. Previamente a la realización del modelo, los estudiantes han tenido contacto con los docentes de la asignatura respectiva y por medio de diferentes metodologías se les adentra a los conceptos básicos referentes al tema a tratar. En el caso de biología celular se aborda desde las teorías celulares, hasta la diferenciación y estructura de la célula. Por otra parte, para el caso de Morfofisiología, se aborda la histología, la anatomía y la fisiología de forma sistemática, resaltando que se realiza de manera integral, donde un docente, en la mayoría de casos, es quien concentra los diferentes aspectos mencionados y los aplica según la metodología optativa, buscando que el estudiante tenga un papel activo en el proceso de enseñanza - aprendizaje.

La construcción del modelo por ende conlleva el conocimiento previo de la temática y por lo general se establece un espacio dentro de la programación semestral tanto de Biología Celular, como de Morfofisiología. Este espacio es de un día, donde cada grupo trae diferentes materiales (los que consideren necesarios) para la realización del mismo. No se limita ningún tipo de material, sin embargo, los materiales más utilizados por los estudiantes son plastilina y material poroso (icopor). En caso de no completar dentro del espacio generado el modelo, los estudiantes terminan el trabajo en casa.

La evaluación del modelo se realiza de forma grupal, con evaluación sumativa individual, con criterios establecidos en una rúbrica de evaluación cuali-cuantitativa. La duración para la evaluación del modelo es de aproximadamente 30 minutos por grupo, pero el docente tiene la potestad de ampliar este tiempo, dependiendo del ritmo con el que se genere la evaluación. Al final se les realiza una retroalimentación a los estudiantes.

Tres semanas después de la sustentación del modelo, utilizando la misma rúbrica se realizó individualmente la evaluación oral, con un tiempo estimado de 5-7 minutos. Un mes después, se realizó el cuestionario de percepción estudiantil, con una escala tipo Likert, calificando de 1 a 5 la actividad de construcción de modelos a escala, siendo 1 el valor de total desacuerdo y 5 en completo acuerdo. Todas las preguntas fueron construidas con enunciados positivos.

Con el paquete estadístico STATA 8 se compararon las calificaciones obtenidas en la evaluación con el modelo versus la evaluación sumativa individual de la asignatura que se realizó tres semanas después a través de t-test. Mediante un modelo de regresión univariante se pudo predecir el resultado de los estudiantes a partir de la calificación del modelo.

Consideraciones éticas

Esta investigación se consideró de bajo riesgo, solo se utilizaron los registros académicos de los estudiantes con autorización de la Decanatura de la Facultad de Medicina y no fue necesario el diligenciamiento de consentimiento.

Resultados

En la **Figura 1** se observan los resultados de la encuesta de percepción que se les aplicó a los estudiantes de Morfología y Biología Celular.

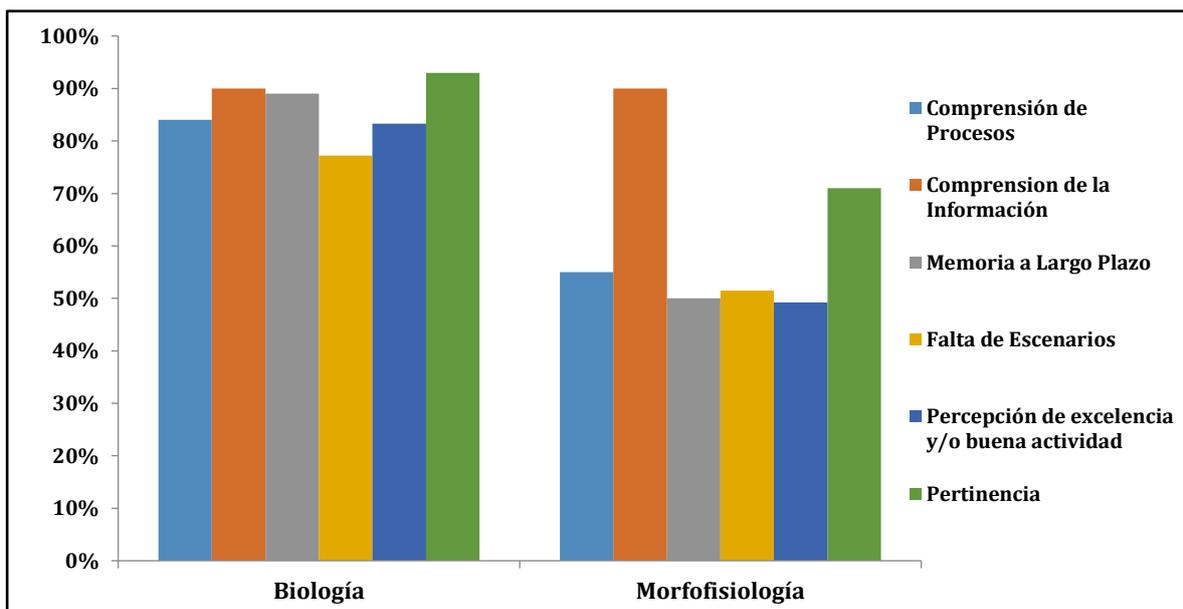


Figura 1. Percepción estudiantil frente a la construcción del modelo y su aprendizaje en las áreas de Biología Celular y Morfofisiología. Medición porcentual frente al universo encuestado teniendo en cuenta las variables de interés frente a la construcción de modelos para el mejoramiento del proceso de aprendizaje.

De la población total encuestada el 96% construyó un modelo. El 84% de los estudiantes de biología considera que la construcción del modelo le permite comprender los procesos celulares, en comparación con el 55.5% de morfofisiología. Esta relación se mantiene frente a la percepción de los estudiantes en la presentación del examen oral después de haber construido el modelo. Más del 90% de los encuestados considera que la construcción del modelo les permite comprender mejor la información. Más del 50% de los estudiantes de Morfofisiología considera que la construcción de un modelo le ha permitido generar memoria largo plazo, en biología celular esta cifra es del 89%. (**Figura 1**), resaltando en estos resultados el efecto positivo que los estudiantes perciben en el proceso de aprendizaje cuando realizan el modelo.

Con respecto a la falta de escenarios de práctica el 51.5% de los estudiantes de Morfofisiología y el 77% de Biología Celular consideran que la construcción del modelo es una alternativa de aprendizaje cuando el recambio de cadáveres es mínimo y los laboratorios insuficientes. Adicionalmente, el 84% de los estudiantes de biología celular y el 49% de Morfofisiología consideran esta actividad como muy buena o excelente. Finalmente, el 71% de los estudiantes de Morfofisiología y el 93% de Biología Celular consideran que la actividad de construir el modelo es pertinente y adecuada.

Para el análisis de las calificaciones de los modelos y el examen oral se tomaron los registros de los estudiantes de segundo (Biología Celular) y cuarto (Morfofisiología) semestre del ciclo básico, con un total de 267 estudiantes que corresponde a la muestra, de esta población el 62.5% fue femenino y el 37.5% masculino. La **Figura 2** muestra por medio de un histograma la relación entre la densidad de la población y las valoraciones obtenidas en el modelo la relación de las notas en una escala de 1 a 5, resaltando que una fracción significativa de la población se ubica en la valoración de 4, es importante resaltar que los resultados evidencian bajo nivel de reprobación, teniendo en cuenta que la escala es del 0 al 5 y que el diagrama permite reconocer que la mayor densidad de la población se encuentra con valoraciones de 3, 4 y 5.

En la **Figura 3** el histograma describe el comportamiento de la población frente a las valoraciones del examen oral, encontrando una curva ascendente positiva hacia el cinco como máxima valoración, los estudiantes

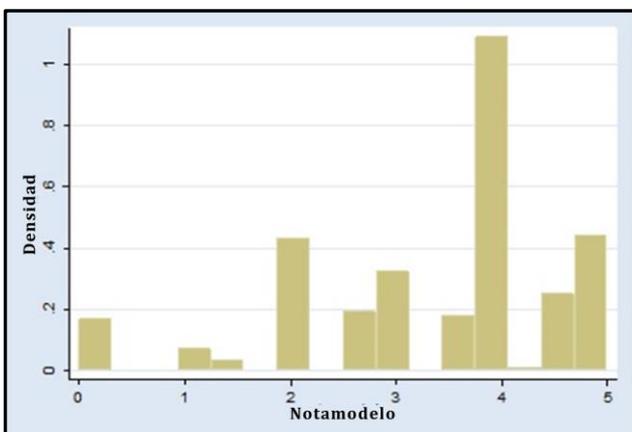


Figura 2. Calificaciones obtenidas en la evaluación del modelo

que se ubican entre 0, 1 y 2 son la minoría. El comportamiento de la gráfica es interesante ya que la mayor densidad se encuentra en el intervalo de 4 a 5.

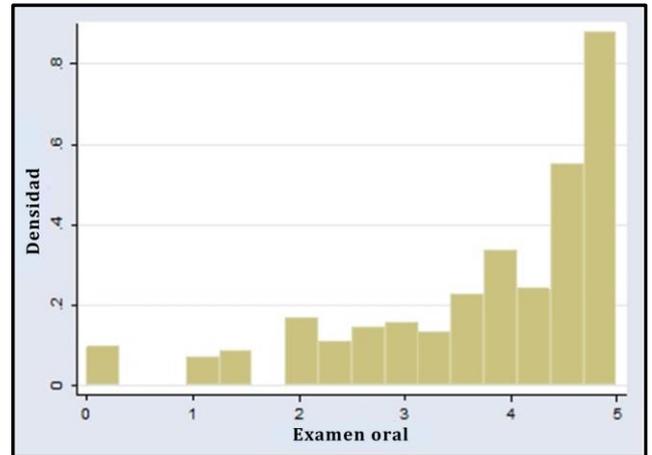


Figura 3. Calificaciones obtenidas en el examen oral.

La **Figura 4** permite observar la correlación entre la nota del modelo y la nota del examen oral, respecto a las calificaciones la mediana del modelo fue de 3.38 y la mediana del examen oral fue de 3.75; existiendo una correlación del 84% entre la nota del modelo y el examen oral, con un coeficiente de correlación de Pearson 0.85 con una $p=0.000$, estadísticamente significativa, sin encontrar diferencias en el rendimiento según el género.

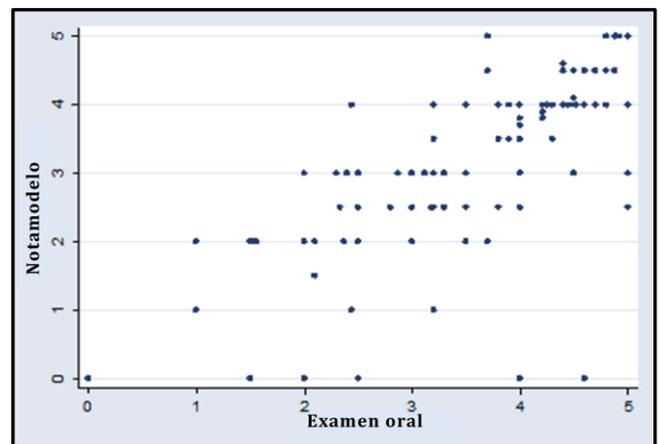


Figura 4. Correlación y dispersión entre las calificaciones obtenidas en el modelo y el examen oral.

Discusión

Tradicionalmente, el sistema educativo en especial en las ciencias de la salud ha privilegiado las técnicas centradas en el docente y su rol como transferente de información a estudiantes pasivos y evaluaciones centradas en los resultados, mas no en el proceso.¹²

Estudios en educación e innovación tecnológica en las áreas de la salud, han demostrado que la acumulación de gran contenido, en entornos pasivos del aprendizaje no impactan el aprendizaje significativo, para la vida; no

promueve el desarrollo de pensamiento crítico, razonamiento y solución de problemas. Este estudio sobre la modelización y su impacto en el aprendizaje se fundamentó en los cuatro pilares del mismo: aprender a conocer, aprender a hacer, aprender a convivir y aprender a ser; y está en concordancia con las estrategias didácticas de la educación posmoderna que permiten el desarrollo de la metacognición, y la correlación con el currículo institucional.¹³

El objetivo principal de este artículo fue evaluar el desempeño académico del estudiante cuando construye y sustenta un modelo tridimensional en las áreas de Biología Celular y Morfofisiología; y la correlación con el examen oral del área. Los resultados demuestran una correlación directa entre las dos actividades académicas estadísticamente significativa. Soportados en las teorías neo-constructivistas y transformativas del aprendizaje¹⁴⁻¹⁶ esta es la estructuración del conocimiento más allá de la memorización de contenidos factuales y está sujeto a fenómenos de atención y solución de problemas como resultado de la reflexión sobre la experiencia y la activación de los diferentes canales de percepción¹⁷ y zonas cerebrales en especial la corteza premotora.¹⁸

Estudios anteriores hechos por^{19,20} han considerado el uso de modelos con plastilina para la recreación de órganos o estructuras complejas como una alternativa que promueve el aprendizaje activo, mejorando la comprensión de la tridimensionalidad de las estructuras. Un estudio de la Universidad de Pensilvania¹⁹ en la Facultad de Veterinaria, documentó que los estudiantes que tuvieron un mejor desempeño en anatomía fueron los que construyeron modelos en plastilina; resultados similares con los nuestros y con el Community College La Guardia en Estados Unidos,²¹ demostró la efectividad de la modelización con plastilina y la retención de la información a largo plazo, concordante con nuestros hallazgos. En la Universidad de Talca¹³ y la Universidad de Illinois,²² demostraron que la construcción de modelos fortaleció los procesos del pensamiento superior y¹² ha demostrado la relación entre la construcción del modelo y los canales de percepción de cada estudiante.

La evidencia sostiene que la participación activa de los estudiantes facilita la asimilación¹⁵ y consolidación del nuevo conocimiento mejoran el desempeño. También se ha reforzado que la información proporcionada de forma multinodal²³ y el rol de gestor del estudiante del aprendizaje²⁴ promueven el desarrollo de habilidades del pensamiento superior como el análisis, argumentación, toma de decisiones y solución de problemas en un contexto real²⁴ así como fortalece la habilidades de comunicación y aprendizaje entre pares.

Con respecto a la percepción estudiantil, nuestros resultados son favorables en varios aspectos: los estudiantes consideran que esta alternativa pedagógica es útil

ante la falta de escenarios de práctica, les permitió una mejor comprensión no solo de las estructuras sino de los procesos implicados en biología y fisiología; y les permitió desarrollar habilidades comunicativas y trabajo en equipo. Resultados similares a los estudios hechos por Waters *et al.*,¹⁹ Motoike *et al.*,²⁰ Oh *et al.*²⁵ y Kontiris-Litowitz.²⁶

Limitaciones

La cantidad de estudiantes por semestre y la relación de docente-discente de 1:150 no permitieron determinar el canal de aprendizaje de cada uno. Por el número de estudiantes el tiempo de evaluación de los modelos y el examen oral es limitado.

Conclusion

Podemos deducir que la actividad académica de construcción de modelos tridimensionales en las áreas de Biología Celular y Morfofisiología para el desarrollo de la comprensión de estructuras complejas mejora la capacidad de integración y argumentación de los contenidos de estas asignaturas. Desde el punto de vista de la neurociencia del aprendizaje, se puede argumentar que la construcción de modelos genera procesos de memoria a largo plazo gracias a las múltiples conexiones neuronales para llevar a cabo la tarea. No cabe duda de que el aprendizaje es más efectivo cuando se usan varios canales de percepción aumentando la actividad de la corteza prefrontal y facilitando la conexión entre el mundo real y la construcción mental del estudiante; simultáneamente, fortalece el trabajo en equipo y la comunicación. Es una actividad útil no solo ante la falta de escenarios de práctica, sino que también permitió detectar bajo desempeño académico oportunamente e intervenir el proceso de aprendizaje. Por otro lado, generó en los estudiantes habilidades de autorregulación y responsabilidad por la construcción de su propio conocimiento.

Declaración de financiación y conflicto de intereses

Los Autores no declaran conflicto de intereses. Esta investigación no requirió fondos financieros.

Agradecimientos

Agradecemos a la Fundación Universitaria Juan N. Corpas, la Dra. Ana María Piñeros Ricardo, Rectora, al Dr Luis Gabriel Piñeros, Vicerrector académico y al Dr Juan David Piñeros, Vicerrector Administrativo. Y Centro de investigaciones de la Fundación Universitaria Juan N. Corpas.

Referencias

1. Talanquer V. Macro, Submicro, and Symbolic: The many faces of the chemistry "triplet." *Int J Sci Education*. 2011;33(2):179-95.
2. Kelly RM, Jones LL. Exploring how different features of animations of sodium chloride dissolution affect students explanations. *J Sci Educ Technol*. 2007;16(5):413-29.
3. Oliva JM, Aragón MM, Bonat M, Mateo J, Mateo M. Un estudio sobre el papel de las analogías en la construcción del modelo cinético-molecular de la materia. *Enseñanza Cienc*. 2003;

- 21(3):429-44.
4. Tasker R, Dalton R. Research into practice: visualisation of the molecular world using animations. *Chem Educ Res Pract*. 2006;7(2):141-59.
 5. Ebert RH. Flexner's model and the future of medical education. *Acad Med*. 1992;67(11):737-42.
 6. Zamorano CA. La Enseñanza y el Aprendizaje de las Ciencias Experimentales en la Educación Media Superior de México. *Rev IMEAUNILA*. 2014;2(2):60-75.
 7. Herrera R, Herrera H, Arancibia MMC, Massardo DC, Gonzalez ZD, Rugiero PE, Reyes PM. Implementación y evaluación de una metodología de autoaprendizaje dirigido, para estudiantes de dos carreras de ciencias de la salud. *Rev Educ Cienc Salud*. 2011;8(1):25-30.
 8. Moreira MA. La teoría del aprendizaje significativo crítico: un referente para organizar la enseñanza contemporánea. *Rev Iberoamericana Educ Matemática*. 2012;31:9-20.
 9. Pizarro C, Maltés O, Díaz M, Vargas M, Peralta MA. Método de casos. Una metodología activa para adquirir aprendizajes significativos en química. 2015;6(3):53-60.
 10. García A, Pinilla J. Campo de pensamiento científico y tecnológico. Secretaría de Educación Distrital. Colegios Públicos para la excelencia de Bogotá. Orientaciones para la discusión curricular por campos del conocimiento. Serie Documentos de Trabajo, Alcaldía de Bogotá. Tercera parte. Bogotá, Colombia: SED; 2007. p.107-125.
 11. Juanes M, Prats G, Velasco M, Lagándara L, Rodríguez C. Modelización de los huesos del cráneo, a partir de imágenes seccionales de tomografía computarizada, para el aprendizaje autónomo. Repositorio de Producción Científica de la Universidad Europea [Internet]. 2007 [Acceso em: 2017 Jan 28]. Disponible em: [http://abacus.universidadeuropea.es/bitstream/handle/11268/3368/Juanes%20M%C3%A9ndez,%20Juan%20A.%20\(2\).pdf?sequence=1](http://abacus.universidadeuropea.es/bitstream/handle/11268/3368/Juanes%20M%C3%A9ndez,%20Juan%20A.%20(2).pdf?sequence=1)
 12. Pfrimer GA, Abreu T, Vieira VS, Soares NP, Aversi-Ferreira RAGMF, Gratão LHA, et al. Aspectos históricos y de enseñanza de la anatomía y el papel del género cebus en la anatomía moderna. *Int J Morphol*. 2012;30(2):607-12.
 13. Lopez Farias B, Sandoval Man C, Gimenez AM, Villarroel PR. Valoración de la actividad de modelos anatómicos en el desarrollo de competencias en alumnos universitarios y su relación con estilos de aprendizaje, carrera y sexo. *Int J Morphol*. 2012;30(2):607-12.
 14. Mezirow J. Transformative learning: theory to practice. *Dir Adult Continuing Educ*. 1997;(74):5-12.
 15. Piaget J, Gréco P. Aprendizagem e conhecimento. Rio de Janeiro: Freitas Bastos; 1974. 236p.
 16. Vygotsky LS. Interaction between learning and development. In: Gauvain M, Cole M. Readings on the development of children. 2th ed. New York: W. H. Freeman and Company; 1978. p.79-91.
 17. Pena GP, Andrade-Filho JS. Analogies in medicine: valuable for learning, reasoning, remembering and naming. *Adv Health Sci Educ Theory Pract*. 2010;15:609-19.
 18. Bunge SA. How we use rules to select actions: a review of evidence from cognitive neuroscience. *Cogn Affect Behav Neurosci*. 2004;4(4):564-79.
 19. Waters JR, Van Meter P, Perrotti W, Drogo S, Cyr RJ. Cat dissection vs. sculpting human structures in clay: an analysis of two approaches to undergraduate human anatomy laboratory education. *Adv Physiol Educ*. 2005;29(1):27-34.
 20. Motoike HK, O'Kane RL, Lenchner E, Haspel C. Clay modeling as a method to learn human muscles: A community college study. *Anat Sci Educ*. 2009;2(1):19-23.
 21. Haspel C, Motoike HK, Lenchner E. The implementation of clay modeling and rat dissection into the human anatomy and physiology curriculum of a large urban community college. *Anat Sci Educ*. 2014;7(1):38-46.
 22. Bareither ML, Arbel V, Growe M, Muszczynski E, Rudd A, Marone JR. Clay modeling versus written modules as effective interventions in understanding human anatomy. *Anat Sci Educ*. 2013;6(3):170-6
 23. Rezende-Filho FM, Fonseca LJS, Nunes-Souza V, Guedes GS, Rabelo LA. A student centered approach for developing active learning: the construction of physical models as a teaching tool in medical physiology. *BMC Med Educ*. 2014;14:189.
 24. Cano LM, Teherán AA. Modelo de gestión del aprendizaje en ciencias básicas: un corte transversal. *RIEM*. 2016;5(18):93-101.
 25. Oh CS, Kim JY, Choe YH. Learning of Cross-Sectional Anatomy using clay models. *Anat Sci Educ*. 2009;2:156-9.
 26. Kontiris-Litowitz J. Using manipulatives to improve learning in the undergraduate neurophysiology curriculum. *Adv Physiol Educ*. 2003;27:109-19.