

Augmented reality learning resources in anatomy.

Luís Felipe García Arias
Ingeniero Electrónico
Universidad Nacional de Colombia
E-mail: lufgarciar@unal.edu.co

Néstor Darío Duque Méndez
Profesor Asociado, Departamento
de Informática y Computación
Universidad Nacional de Colombia
E-mail: ndduqueme@unal.edu.co

Cecilia Dias Flores
Profesora Asociada, Departamento de
Ciencias Exactas y Sociales
Universidade Federal de Ciências
da Saúde de Porto Alegre
E-mail: dflores@ufcspa.edu.br

Abstract—Augmented reality can be applied in different areas of knowledge and one of the most explored fields has been health. The objective of this article is to present the results obtained from the evaluation of learning resources developed using augmented reality technology. The evaluation was made by students of health undergraduate programs who participated in the Academic Day of the Biomedicine program of a Brazilian higher education institution. 8 educational resources were evaluated, all related to the area of general anatomy. The resources were evaluated by 41 students who answered a validated questionnaire for the evaluation of educational resources with questions about: learning, interactivity, engagement, attractiveness, functionality and autonomy. The evaluation was considered valid. The challenge is to find interactive alternatives that stimulate and simultaneously incorporate content, with a depth appropriate to the objective of the subject. Critics in the evaluation will serve as the basis for adjustments in the next learning resources to be developed.

Keywords—Augmented reality, general anatomy, learning resource.

I. INTRODUCCIÓN

El curso de anatomía general es básico para todos los programas de graduación del área de la salud y aborda el estudio de la organización estructural del cuerpo humano desde el punto de vista de la morfología, de la disposición y de las relaciones entre órganos y sistemas. Buscando soluciones innovadoras para la enseñanza, el grupo de investigación en ambientes inteligentes adaptativos (GAIA) propone la utilización de recursos didácticos modernos — basados en la interactividad y en el uso de visualización tridimensional — basados en una técnica conocida por realidad aumentada [1].

La realidad aumentada (RA) puede ser definida como la adición de objetos virtuales en el ambiente físico, presentada al usuario en tiempo real, con el apoyo de algún dispositivo tecnológico, usando una interfaz del ambiente real, adaptada para visualizar y manipular los objetos reales y virtuales [2]. La RA es una tecnología para enriquecer la percepción de la realidad, siendo un potencializador de los cinco sentidos con los que el ser humano percibe la realidad, con la cual el mundo real se complementa con un entorno digital; en términos más técnicos, la RA agrupa las

tecnologías que permiten la superposición de información virtual sobre objetos reales [3].

El uso de la realidad aumentada aplicada en la salud viene siendo objetivo de investigaciones en los últimos años. Buscando conocer la realidad en la área de la salud, fue realizada una breve búsqueda en Medline sobre artículos que referencian el uso y desarrollo de recursos educativos que hacen uso de la tecnología de realidad aumentada. La ecuación de búsqueda utilizada para la búsqueda fue “*augmented reality*” AND “*education*”. Fueron encontrados apenas 170 artículos, publicados entre los años 1997 y 2018, dispuestos como se presenta en la figura 1. Se observa un interés creciente sobre el uso de esta tecnología en la enseñanza en la área de la salud. A pesar que se tiene una tendencia de crecimiento en la cantidad de trabajos en esta área, la cantidad de artículos publicados son pocos, lo que demuestra que existe un espacio para desarrollo de propuestas que involucren el uso de la realidad aumentada en la educación.

Algunas áreas médicas, tales como la educación médica y el entrenamiento, simulación quirúrgica, rehabilitación neurológica, psicoterapia y telemedicina hacen uso de técnicas de realidad aumentada [4]. Diversos trabajos están siendo desarrollados con el objetivo de implementar sistemas de visualización con realidad aumentada para proporcionar interfaces accesibles y de fácil utilización que apoyan las intervenciones médicas y presentan informaciones del paciente [5], [6]. Un ejemplo es la herramienta desarrollada para la visualización y simulación de señales cardíacas [7], utilizando técnicas de realidad aumentada. El apoyo a la enseñanza de la interpretación de imágenes de ultrasonografía [8] y en la enseñanza y rehabilitación personalizada de pacientes [9] son otros dos ejemplos del uso de realidad aumentada en la enseñanza en la área de la salud. La bioinformática es otra área de la salud que viene beneficiándose de herramientas de realidad aumentada para la visualización 3D de modelos de estructuras bioquímicas [10]. Se verifica que todavía hay desafíos a ser abordados, motivo por el cual, la realidad aumentada en salud ofrece diversas oportunidades de investigación.

Uno de los desafíos en el uso de métodos activos de aprendizaje es presentar los problemas a los alumnos de manera que estos puedan trabajar y estudiar los contenidos a cualquier hora y en cualquier lugar. En los cursos del área

de la salud, la tecnología de realidad aumentada parece adaptarse como estrategia de desarrollo de contenidos. El trabajo aquí presentado describe una clase para la evaluación de recursos educativos destinados a la enseñanza de anatomía humana. El principio orientador de este trabajo es aproximar a los estudiantes de piezas anatómicas humanas en una presentación próxima a la realidad a la que están habituados, de modo interactivo y que permita estimular y persuadir a los estudiantes para que profundicen el conocimiento sobre el tema propuesto.

En este trabajo se presenta la evaluación de 8 recursos educativos, relacionados con la área de anatomía general. 41 alumnos participaron en la evaluación de recursos educativos. La calificación de estos recursos busca establecer su capacidad de aumentar la motivación del estudiante en el proceso de aprendizaje. Además, se busca establecer si los recursos educativos sirven como herramienta para apoyar el proceso de aprendizaje. La evaluación de los recursos se realiza calificando 15 afirmaciones con puntuaciones entre 1 y 5. Al final, se pide a los estudiantes responder 3 preguntas abiertas acerca de su experiencia.

El documento se estructura de la siguiente manera: en los párrafos anteriores se presenta el espacio de investigación, en la sección II se presenta el principio de funcionamiento de los recursos educativos y las herramientas utilizadas para su desarrollo. En la sección III se presentan los detalles de la evaluación realizada, así como el cuestionario aplicado. En la sección V se discuten los resultados obtenidos. Por último, en la sección VI se presentan las conclusiones y el trabajo futuro.

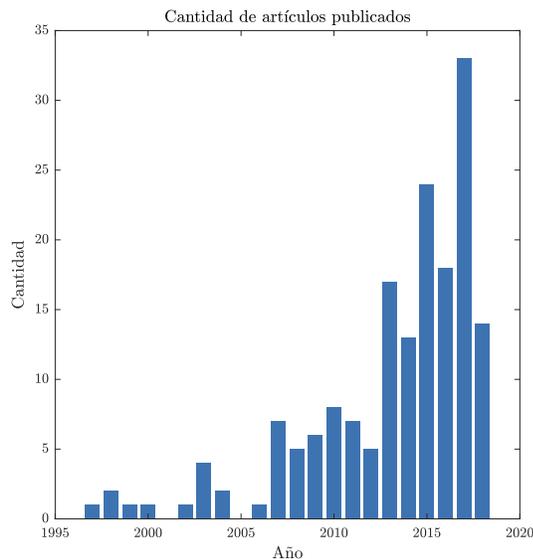


Figura 1: Cantidad de artículos encontrados con el motor de búsqueda *pubmed* con la ecuación de búsqueda: “*augmented reality*” AND “*education*”.

II. DESARROLLO DE LOS RECURSOS EDUCATIVOS DE REALIDAD AUMENTADA

Con el fin de ofrecer alternativas educativas que motiven al estudiante a adquirir nuevos conocimientos en el aula de clase, se han desarrollado recursos educativos en diferentes campos de estudio, entre ellos el de salud. En trabajos previos del grupo de Investigación en Ambientes Inteligentes Adaptativos (GAIA) de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales [1], [11], se han construido recursos educativos de realidad aumentada en áreas de ciencias naturales, ciencias sociales e informática. Específicamente, en el área de anatomía básica se tienen disponibles diversos objetos de aprendizaje almacenados, descritos y disponibles en la federación de repositorios de objetos de aprendizaje Colombia (FROAC). Existen diferentes herramientas para el desarrollo de recursos basados en realidad aumentada. Para los objetos presentados se aprovecharon las siguientes:

- Unity 3D: Software multiplataforma flexible y poderoso orientado fundamentalmente a crear juegos, con buenas opciones para ambientes interactivos 3D y 2D. (<https://unity3d.com/es>).
- Vuforia: Un SDK que facilita el desarrollo de aplicaciones con realidad aumentada, es compatible con una variedad de objetos 2D y 3D y proporciona una interfaz de programación a través de una extensión de Unity. Las aplicaciones de RA desarrolladas con Vuforia son compatibles con una amplia gama de dispositivos móviles, tales como iPad, iPhone y teléfonos y tabletas con Android 2.2 o superior. (<https://developer.vuforia.com/home-page>).
- Android Studio: Entorno de desarrollo libre para aplicaciones para dispositivos Android, programado en Java y que ofrece un ambiente flexible para creación y despliegue inmediato con muy buen rendimiento. (<https://developer.android.com/studio/>).
- 3ds Max: Software de modelado, animación y renderización. Se aprovechó para la construcción de los modelos 3D que hacen parte de los recursos educativos y para algunas imágenes, entre ellas marcadores.

Los objetos de realidad aumentada disponibles deben ser ejecutados en un dispositivo móvil o ambiente emulado, lográndose la interacción con los recursos a través de activadores (marcadores o imágenes), como el que se presenta en la figura 2. Para cada uno de los recursos de aprendizaje, se tiene un activador alusivo a su contenido. La interacción se realiza aprovechando la información que puede ser obtenida de los sensores inerciales del dispositivo móvil en conjunto con la posición relativa del marcador. Se permite entonces explorar el objeto 3D con funciones habilitadas como acercamiento y rotación. En la figura 3 se presenta un ejemplo de uno de los recursos educativos.

III. MÉTODOS

En este trabajo se busca que estudiantes del área de la salud evalúen de objetos de aprendizaje con realidad

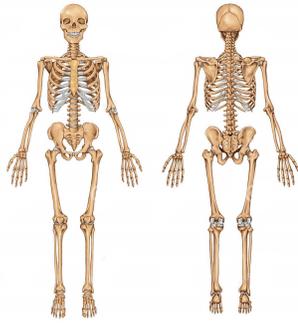
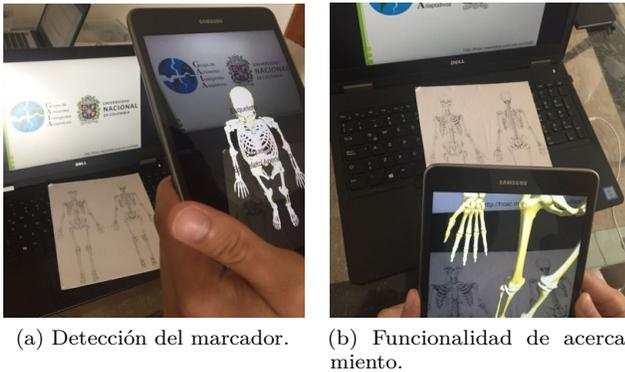


Figura 2: Marcador del recurso educativo del sistema óseo.



(a) Detección del marcador. (b) Funcionalidad de acercamiento.

Figura 3: Recurso educativo relacionado con el sistema óseo. Se presenta la detección del marcador y el uso de la funcionalidad de acercamiento

aumentada. A partir de los resultados, se busca conocer la pertinencia del uso de los recursos desarrollados y posibles mejoras a ser realizadas para mejorar el proceso de aprendizaje. Para evaluar los recursos educativos fue aplicado un formulario desarrollado en [11]. Fueron seleccionados 8 recursos educativos, en el área de anatomía general, para ser evaluados por estudiantes del área de la salud. Estos hacen parte de un conjunto de recursos educativos con realidad aumentada desarrollados en el marco de un proyecto a cargo del grupo GAIA [1], [11]. En la construcción de los recursos educativos participaron 3 estudiantes de pregrado y un estudiante de maestría, mientras cumplían con otras actividades relacionadas con el proyecto con una vinculación de 1 año.

Los recursos educativos fueron evaluados por un grupo de 41 estudiantes del programa de biomedicina de la Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre (UFCSPA) con edades entre los 19 y los 24 años. Se solicitó a cada uno interactuar con los objetos de su interés y diligenciar un formulario considerando su experiencia. Este busca evaluar cada recurso educativo en las dimensiones educativa, estética, funcional y de contenido. A través de las preguntas agrupadas en la dimensión educativa se espera evaluar la contribución de recurso con el aprendizaje del

estudiante. Las preguntas que conforman la agrupación estética buscan indagar por la opinión de los estudiantes acerca la interfaz de usuario y su capacidad para motivarlo a acceder al contenido educativo. La dimensión funcional busca calificar la experiencia del estudiante respecto a su interacción con la interfaz de usuario y su eficacia permitirle acceder al contenido educativo; además, busca evaluar la capacidad de la plataforma para permitirle interactuar satisfactoriamente con el contenido en caso de fallas. Por último, las preguntas agrupadas en la dimensión de contenido buscan pesquisar sobre la pertinencia subjetiva del contenido presentado por el recurso educativo.

A través del formulario, se invita a los participantes a calificar 15 afirmaciones de acuerdo a las valoraciones: concuerdo totalmente (5), concuerdo parcialmente (4), ni concuerdo ni discuerdo (3), discuerdo parcialmente (2), discuerdo totalmente (1), no aplica (N/A). Además, se solicitó agregar comentarios acerca de lo que más les gustó del recurso educativo, lo que menos les gustó y observaciones adicionales. En la tabla I se presentan las afirmaciones valoradas para cada una de las interacciones con los recursos educativos. En la figura 4 se presentan estudiantes interactuando con uno de los recursos educativos.



Figura 4: Estudiantes interactuando con los recursos educativos.

IV. RESULTADOS

En la figura 5 se presentan diagramas de caja de las evaluaciones de cada una de las afirmaciones para 5 recursos educativos. No son presentadas los resultados para los recursos sistema digestivo, sistema óseo y sistema respiratorio debido que solo recibieron 1, 1 y 2 evaluaciones respectivamente. Los recursos educativos que recibieron un mayor número de evaluaciones fueron los relacionados con el sistema muscular, con 11, y el sistema circulatorio y corazón, cada uno con 7. Entre las 41 evaluaciones realizadas, 5 no califican un recurso educativo específico y no son presentadas en las calificaciones por recurso educativo.

Las afirmaciones que, en promedio, tuvieron la mejor y peor calificación fueron “El contenido del recurso educativo concuerda con su objetivo” y “En caso de ocurrir un error o

Tabla I: Afirmaciones valoradas por los estudiantes

Dimensión	Afirmación
Educativa	1. El contenido del recurso educativo concuerda con su objetivo. 2. El contenido del recurso educativo contribuyó con su aprendizaje. 3. El recurso educativo ofreció la realimentación necesaria para entender el tema presentado. 4. El recurso educativo generó mas interés por el tema después de usarlo.
Estética	5. Los colores y su contraste, las imágenes, el tamaño de los elementos y la distribución del espacio facilitaron su interacción con el recurso educativo. 6. La apariencia del recurso educativo (contraste de los colores, distribución de los elementos como el texto, las imágenes, tablas, entre otros) es agradable. 7. El diseño de la interfaz de usuario indica de modo implícito o explícito la manera de interactuar con el recurso educativo. 8. La fuente tipográfica y el tamaño del texto y el tamaño del texto es legible y le permitió una buena velocidad de lectura.
Funcional	9. Pudo acceder al contenido del recurso educativo. 10. Fue fácil interactuar con el recurso educativo. 11. El recurso educativo presenta algún tipo de ayuda o instrucciones para guiar la navegación por el contenido. 12. Los botones y enlaces son fáciles de encontrar y rápidos para realizar la acción necesaria. 13. En caso de ocurrir un error o una falla, el recurso educativo le permitió continuar desde el punto donde estaba antes de ocurrir el error.
Contenido	14. El contenido del recurso educativo es relevante en su vida, objetivos personales e intereses. 15. El recurso educativo estaba relacionado con lo que usted esperaba encontrar en él.

falla, el recurso educativo le permitió continuar donde estaba antes de ocurrir” con 4,98 y 3,79, respectivamente. En la tabla II se presentan los promedios de las 41 evaluaciones por cada una de las dimensiones, además del promedio general. La edad media de los estudiantes que participaron fue de 21 años.

El recurso educativo relacionado con el corazón obtuvo calificaciones entre 4 y 5 puntos para las afirmaciones 1 a 10. Para este mismo recurso, el primer cuartil de las evaluaciones para la afirmación “*Los botones y enlaces son fáciles de encontrar y rápidos para realizar la acción necesaria*” se encuentra entre 1 y 3 puntos. Para las afirmaciones 10, 11 y 12, relacionadas con funcionalidad, se obtuvo una mediana de 4, con los cuartiles 3 y 4 agrupados entre 4 y 5 puntos. En el caso del recurso educativo cuerpo humano, las afirmación “*Los botones y enlaces son fáciles de encontrar y rápidos para realizar la acción necesaria*” obtuvo una mediana de 3 puntos con una calificación mínima de 1 punto.

El recurso educativo sistema circulatorio obtuvo las calificaciones más bajas en las afirmaciones “*El diseño de la interfaz de usuario indica de modo implícito o explícito la manera de interactuar con el recurso educativo*” y “*Los botones y enlaces son fáciles de encontrar y rápidos para realizar la acción necesaria*”. Aunque la primera de las afirmaciones mencionada tuvo una mediana de 4 puntos, el 25% de las evaluaciones se encuentran por debajo de los 3 puntos. Para la segunda afirmación, el 50% de los evaluadores calificaron por debajo de 3 puntos. Ambas obtuvieron una calificación mínima de 1 punto.

Los recursos sistema esquelético y sistema muscular obtuvieron evaluaciones entre 3 y 5 puntos para todas las afirmaciones. Destacan en ambos recursos las calificaciones obtenidas para las afirmaciones 1 a 4.

Se evidencia que en todos los casos, las preguntas relacionadas con las dimensiones educativa y de contenido

Tabla II: Promedios de las evaluaciones por dimensión y general

Dimensión	Promedio
Educativa	4,89
Estética	4,20
Funcional	4,20
Contenido	4,67
Promedio general	4,49

obtuvieron calificaciones entre 4 y 5 puntos. Además, para cada objeto, el 50% de las evaluaciones en las preguntas 1 a 4 se agrupan en una puntuación igual a 5.

En la figura 6 son sintetizados los resultados de las evaluaciones a través de diagramas de caja, presentando los promedios de calificaciones por dimensión y agrupadas por objeto de aprendizaje. Son agrupadas en un gráfico adicional aquellas evaluaciones que no mencionaron un recurso educativo específico. Respecto de las afirmaciones relacionadas con la dimensión educativa, el 50% de las evaluaciones para cada objeto y cada pregunta, fueron calificadas con una puntuación de 5. En lo que respecta a la dimensión de contenido, los cuartiles 3 y 4 se encuentran entre 4 y 5 puntos para todos los objetos de aprendizaje.

Las dimensiones estética y funcional presentaron calificaciones más dispersas. Solo los recursos educativos corazón y sistema muscular tienen una mediana por encima de 4 puntos para la dimensión estética. Sin embargo, para la misma dimensión, el cuartil 4 de todos los objetos se encuentra por encima de 4 puntos. En el caso de la dimensión funcional, los recursos sistema circulatorio, sistema esquelético y sistema muscular obtuvieron una mediana por encima de 4 puntos. El recurso cuerpo humano, en cambio, tuvo todas las evaluaciones agrupadas por debajo de 4 puntos para todas las dimensiones.

En el caso de las evaluaciones que no especificaron un

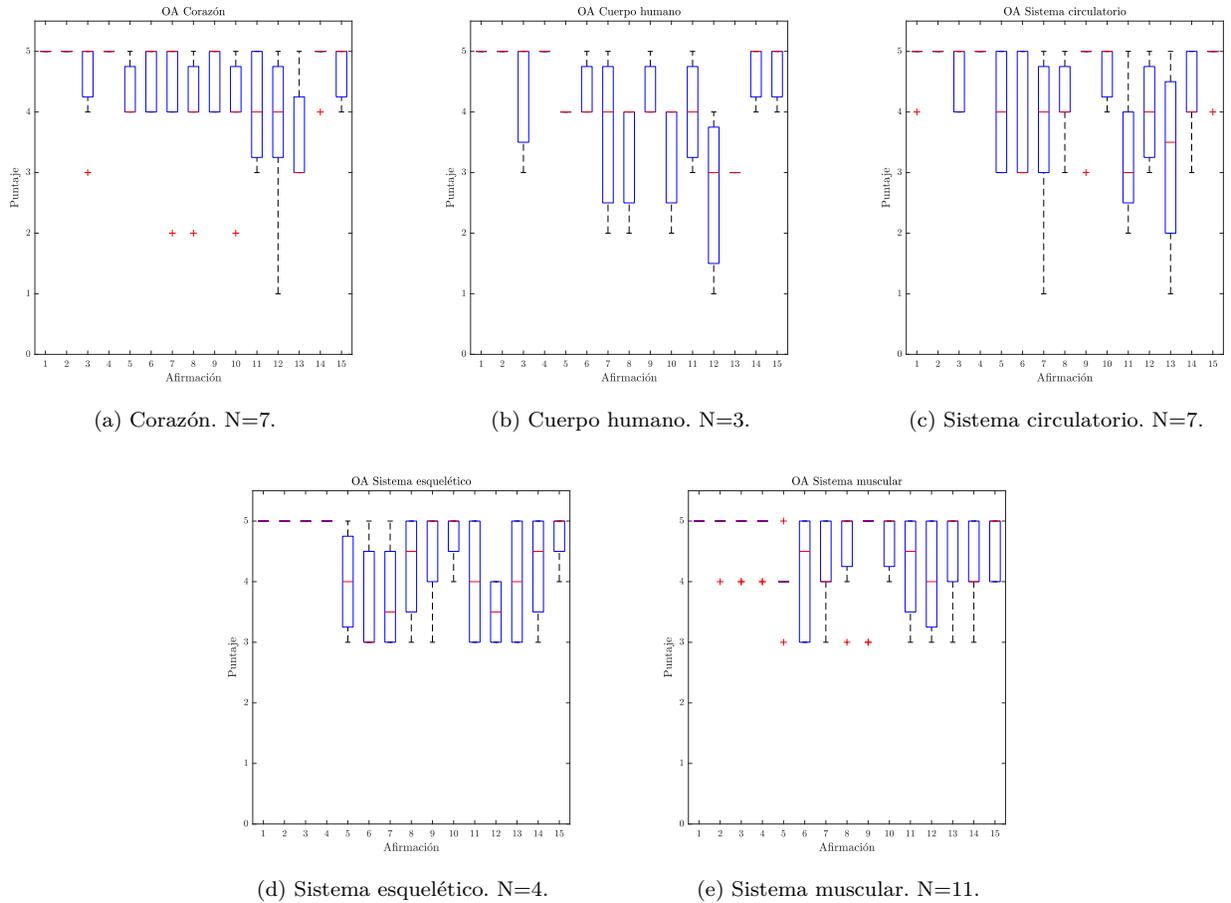


Figura 5: Diagrama de caja de las evaluaciones de cada una de las afirmaciones, agrupadas por objeto de aprendizaje.

recurso educativo, las dimensiones educativa, estética y funcional obtuvieron una mediana de 5 puntos. En este caso, la dimensión funcional tuvo calificaciones más bajas.

IV-A. Comentarios

Al final de la evaluación, se solicitó a los estudiantes agregar comentarios acerca de lo que más les gustó del recurso educativo, lo que menos les gustó y observaciones adicionales. Los comentarios más recurrentes acerca del aspecto que más les gustó del recurso se relacionan con la visualización 3D, la interactividad y la funcionalidad de acercamiento. Otros comentarios en el mismo campo se relacionaron con los detalles de los modelos 3D, la capacidad de explorar el modelo a partir de la posición relativa del dispositivo móvil y la facilidad que implicaría estudiar la asignatura con este tipo de recursos.

En las respuestas sobre lo que menos gustó respecto de los recursos, se encuentran: poca estabilidad de la imagen, falta de precisión al momento de presionar los botones y falta de información acerca de como interactuar con el recurso. Entre las observaciones adicionales, se encuentran: incluir todos los sistemas en un solo aplicativo, y aumentar la velocidad, interactividad y el contenido de los recursos.

En el sistema muscular fue propuesta la capacidad de interactuar con cada uno de los músculos presentados.

V. DISCUSIÓN

El formulario de evaluación de los recursos educativos agrupa 15 preguntas en las dimensiones educativa, de contenido, estética y funcional. La calificación de estos recursos en las últimas dos dimensiones obedece al objetivo de aplicar nuevas tecnologías en las aulas de clase: aumentar la motivación del estudiante en el proceso de aprendizaje. Puntuaciones altas en estas dimensiones pueden implicar un acercamiento mayor de parte de los estudiantes.

El objetivo de los recursos educativos es el de apoyar el proceso de aprendizaje. Así, calificar las dimensiones educativa y de contenido permite evidenciar el logro de este. Además, la evaluación de esta última busca cuantificar la relevancia percibida de los recursos. Puntuaciones altas en la dimensión educativa implican que los recursos contribuyen con el aprendizaje, concuerdan con su objetivo y ofrecen realimentación al estudiante con el fin de facilitar su proceso educativo. Mejores calificaciones en la dimensión de contenido implican coherencia entre lo que el usuario espera encontrar y el contenido ofrecido. A través de

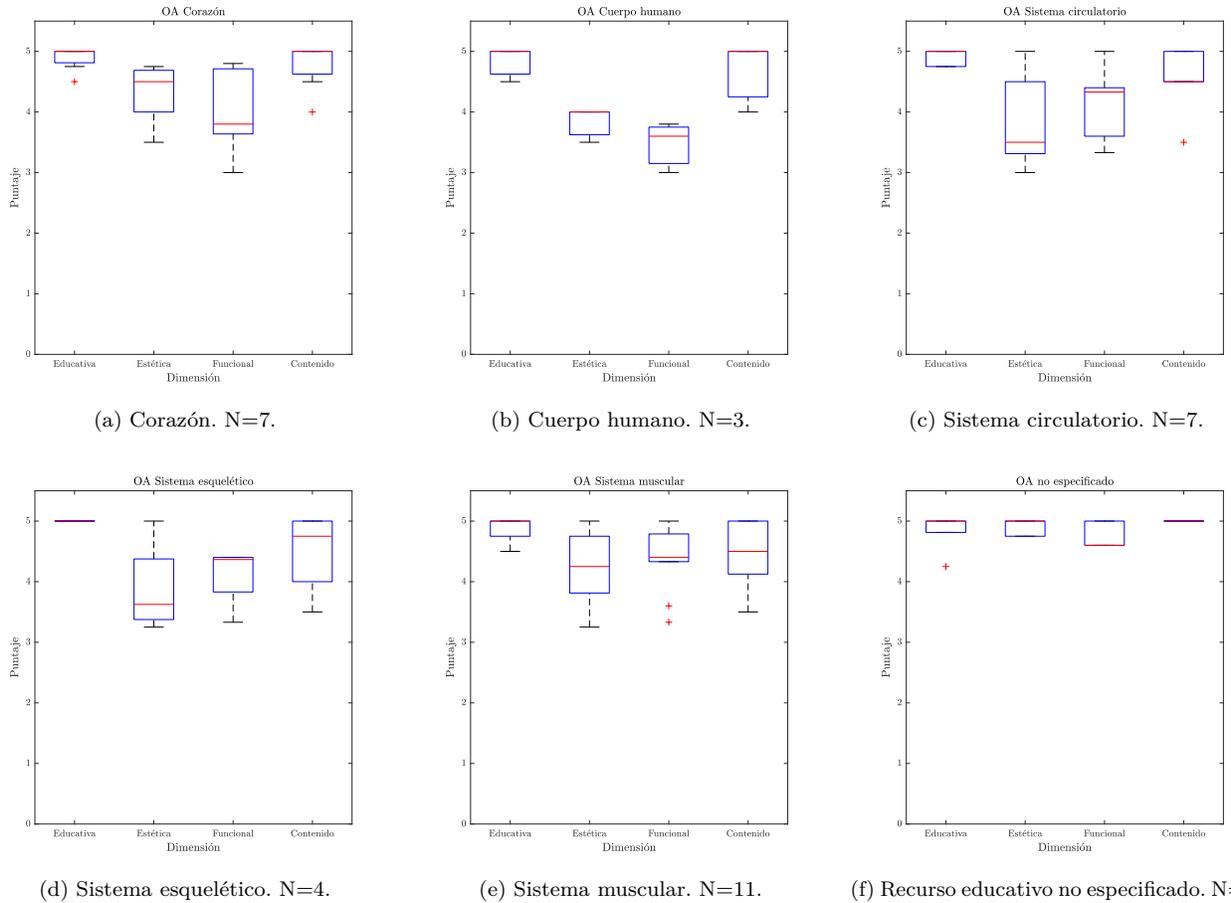


Figura 6: Diagrama de caja de los promedios de calificaciones por dimensión, agrupadas por objeto de aprendizaje.

esta dimensión, se puede cuantificar la importancia del contenido para quien evalúa el recurso.

Las dimensiones educativa y de contenido tuvieron las mejores calificaciones para todos los recursos educativos con valores de mediana superiores a 4,5 puntos y cuartiles 2,3 y 4 agrupados entre 4 y 5 puntos. En el caso de las dimensiones estética y funcional, los resultados no presentan la misma consistencia: el recurso relacionado con el sistema muscular tiene el 50% de las evaluaciones por encima de 4 puntos mientras el recurso cuerpo humano presenta todas las calificaciones agrupadas por debajo de la misma puntuación.

Entre los resultados obtenidos, destacan las calificaciones en las dimensiones estética y funcional para el recurso educativo *cuerpo humano* que sobresale por su complejidad al compararlo con otros recursos. Este, incorpora diferentes sistemas y permite la visualización de cada uno a través de la interacción del usuario con el marcador. Cada una de las 10 áreas circulares, que permiten la interacción, representa: el sistema respiratorio, el sistema óseo, el sistema reproductor masculino, el sistema muscular, el cerebro, el sistema visual, el sistema digestivo, el sistema endocrino y una representación del cuerpo de un humano

del género masculino. Para alternar entre cada una de los modelos que ofrece el contenido, basta limitar el paso de la luz sobre la región correspondiente como si cada una de las regiones se tratase de un botón a presionar. En la figura 7 se presenta el marcador para el recurso educativo *cuerpo humano*. En la figura 8 se presentan algunas de las vistas alternativas que permite este recurso.

Las bajas calificaciones de este recurso en la dimensión funcional pueden explicarse por el modo en el que se realiza la interacción. Por defecto, el recurso presenta el sistema óseo y la visualización de los otros modelos depende de mantener ‘presionada’ la región correspondiente. Esta característica puede dificultar las acciones de rotación y acercamiento del recurso educativo. En este, cada una de las diferentes opciones de visualización son consistentes en cuanto al tamaño y posición relativa. Así, calificaciones negativas en la dimensión funcional, pueden estar relacionadas con la posición relativa del usuario al momento de realizar las transiciones. Modelos más pequeños requieren acercamiento con el fin de mejorar el renderizado. En algunos casos, esta situación pudo no ser advertida por los usuarios.

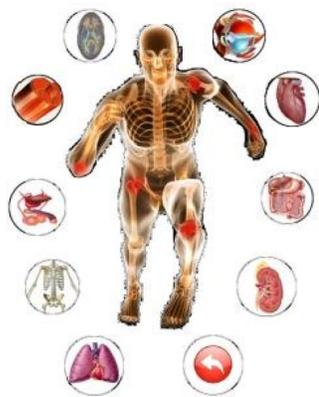
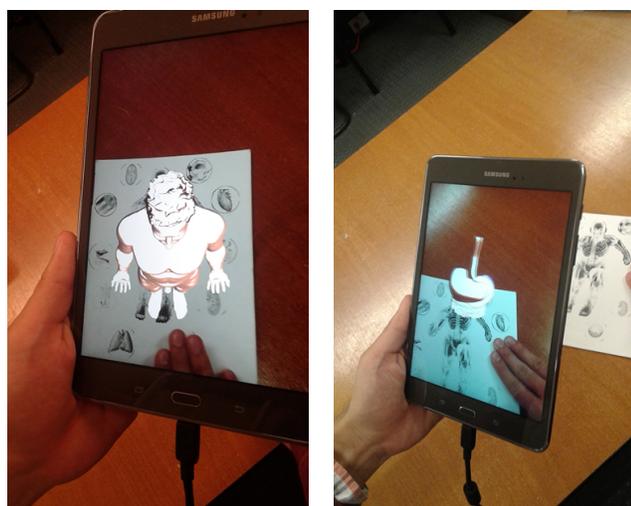
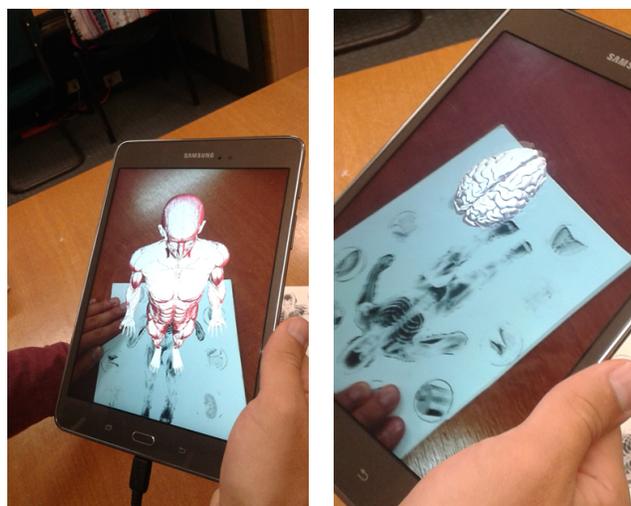


Figura 7: Marcador del recurso educativo *cuerpo humano*.



(a) Cuerpo humano.

(b) Sistema digestivo.



(c) Sistema muscular.

(d) Cerebro.

Figura 8: Vistas alternativas para el recurso educativo *cuerpo humano*.

VI. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Las calificaciones obtenidas para las dimensiones educativa y de contenido permiten concluir que los recursos educativos evaluados logran el objetivo de apoyar el proceso de aprendizaje. Sin embargo, pueden ser mejorados en las dimensiones estética y funcional. A partir de los comentarios recibidos al final de cada evaluación, se concluye que puede ser mejorada la experiencia de usuario.

A partir de los comentarios recibidos en la evaluación de los recursos de aprendizaje se plantean trabajos futuros relacionados con la experiencia de usuario y enfocados a mejorar las dimensiones estética y funcional. Uno de estos, consiste en optimizar el rendimiento a partir del procesamiento adaptativo del objeto 3D que considere la posición relativa del marcador. Además, se plantea mejorar la interacción a través del tratamiento de las señales inerciales del dispositivo móvil. Otras mejoras en los recursos pueden lograrse a partir de la inclusión un diseñador. Su participación permitiría la mejora de las interfaces de usuario con el fin de mejorar las dimensiones estética y funcional.

La participación de los alumnos imprimió la perspectiva deseada para alcanzar el objetivo de la actividad. El desafío consiste en buscar alternativas de interactividad que estimulen y al mismo tiempo incluyan contenido educativo, con una profundidad adecuada al objetivo de la asignatura. La apropiación de las herramientas utilizadas en el desarrollo de los recursos educativos valoriza la realimentación obtenida de parte de los estudiantes y permitirá a los desarrolladores su mejora.

VII. AGRADECIMIENTOS

El equipo de investigación agradece a la profesora Sandrine Wagner, por permitir realizar las evaluaciones de los recursos educativos en el marco de la jornada académica del programa de Biomedicina de la Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre. Además, a la ingeniera colombiana María Jaramillo González por su apoyo en el mismo proceso.

REFERENCIAS

- [1] E. J. Hernández-Leal, N. D. Duque-Méndez, M. G. Ocampo, and P. A. R. Marín, "Construction of learning objects with augmented reality: An experience in secondary education," in *2017 Twelfth Latin American Conference on Learning Technologies (LACLO)*, Oct 2017, pp. 1–7.
- [2] R. Azuma, Y. Baillot, R. Behringer, S. Feiner, S. Julier, and B. MacIntyre, "Recent advances in augmented reality," *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 21, no. 6, pp. 34–47, Nov 2001.
- [3] R. T. Azuma, "A survey of augmented reality," *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 6, no. 4, pp. 355–385, 1997.
- [4] M.-C. Hsieh and Y.-H. Lin, "[vr and ar applications in medical practice and education]," *Hu li za zhi The journal of nursing*, vol. 64, no. 6, p. 12–18, December 2017. [Online]. Available: <https://doi.org/10.6224/JN.000078>
- [5] N. Navab, T. Blum, L. Wang, A. Okur, and T. Wendler, "First deployments of augmented reality in operating rooms," *Computer*, vol. 45, no. 7, pp. 48–55, July 2012.

- [6] C. Bichlmeier, S. M. Heining, M. Feuerstein, and N. Navab, "The virtual mirror: A new interaction paradigm for augmented reality environments," *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 28, no. 9, pp. 1498–1510, Sept 2009.
- [7] E. Lamounier, A. Bucioli, A. Cardoso, A. Andrade, and A. Soares, "On the use of augmented reality techniques in learning and interpretation of cardiologic data," in *2010 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology*, Aug 2010, pp. 610–613.
- [8] F. Mahmood, E. Mahmood, R. G. Dorfman, J. Mitchell, F.-U. Mahmood, S. B. Jones, and R. Matyal, "Augmented reality and ultrasound education: Initial experience," *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*, vol. 32, no. 3, pp. 1363–1367, 2018. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1053077017309916>
- [9] F. Bork, "Interactive augmented reality systems," *Der Unfallchirurg*, vol. 121, no. 4, pp. 286–292, Apr 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s00113-018-0458-y>
- [10] A. Borrel and D. Fourches, "Realityconvert: a tool for preparing 3d models of biochemical structures for augmented and virtual reality," *Bioinformatics*, vol. 33, no. 23, pp. 3816–3818, 2017. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1093/bioinformatics/btx485>
- [11] N. D. Duque Méndez, D. A. Ovalle Carranza, and J. Moreno Cadavid, *Tecnologías para Entornos Educativos Ubicuos, Adaptativos, Accesibles e Interactivos para Todos*, 1st ed. Universidad Nacional de Colombia, 2017.