

Realidad aumentada en la enseñanza de la química de coordinación y estructura de sólidos

Augmented reality on the coordination chemistry and solid structure teaching

Artículo de Investigación

Hassan Martínez Hung ¹

hmartinez@uo.edu.cu

América García López ²

america@uo.edu.cu

Omaidá Quesada González ³

oquesada@uo.edu.cu

Isabel Almenares Verdecias ⁴

veralis@uo.edu.cu

Recibido: 5 de mayo de 2018 Evaluado: 14 de julio de 2018

Aceptado para su publicación: 24 de octubre de 2019

Resumen

La Realidad Aumentada (RA) como un medio de enseñanza novedoso de la Química, contribuye a formar habilidades específicas de la especialidad, así como tributa al desarrollo de competencias profesionales relacionadas con las

Abstract

Augmented Reality (AR) as an innovative teaching tool for Chemistry contributes to the formation of specific skills of the specialty as well as to prepare competent professionals in new technologies. The present work presents the results of the application

¹ Master en Ciencias. Profesor Auxiliar del Departamento de Química y jefe del mismo, Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba.

² Doctora en Ciencias. Profesora Titular del Departamento de Química, Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba.

³ Doctora en Ciencias. Profesora Titular del Departamento de Química, Facultad de Ciencias Naturales. Directora de la Revista Cubana de Química, jefa de la Disciplina de Química General. Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba.

⁴ Master en Ciencias, Profesora Auxiliar del Departamento de Química, Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba.

nuevas tecnologías. En el trabajo se presentan los resultados de la implementación de la RA como medio de enseñanza en las asignaturas Química Inorgánica II y Química de Materiales, que se imparten en años diferentes de la carrera de Licenciatura Química, de la Universidad de Oriente, empleándose una encuesta como herramienta de validación. Los modelos tridimensionales empleados se obtuvieron empleando bases de datos, programas computacionales o se crearon en un programa de diseño tridimensional.

Palabras clave: TIC, Realidad Aumentada, Enseñanza de la Química.

of the RA as a teaching tool in two courses from different years of Chemistry studies on the Universidad de Oriente, Inorganic Chemistry II and Material's Chemistry, using a survey as a validation tool. The three-dimensional models used was obtained using databases, theoretical calculation programs or were created in a three-dimensional design program.

Keywords: ICT, Augmented reality, Chemistry Education.

Introducción

El entendimiento de la química descansa en la comprensión de la parte invisible de la materia, de tal forma que se puedan explicar los fenómenos macroscópicos, por tanto la química es representativa o simbólica (Zumdahl &, 2007). Parte de esa comprensión viene de la capacidad de entender y visualizar correctamente la estructura tridimensional de moléculas, de empaquetamientos compactos de partículas al estado sólido de orbitales atómicos y moleculares (Muller, 2006) de modo que permita incorporar nuevos conocimientos conceptuales dentro de la estructura cognitiva del que aprende, así como establecer relaciones del tipo estructura - propiedad - reactividad o estructura – propiedad - aplicación.

Estas razones justifican la necesidad de desarrollar la inteligencia espacial en los estudiantes de Química, con el objetivo de que puedan percibir relaciones espaciales, reproducir mentalmente objetos que se han observado, visualizar

tridimensionalmente objetos presentados de forma bidimensional (dibujos, imágenes), anticiparse a las consecuencias de cambios espaciales (operaciones de simetría), identificar coincidencias o similitudes entre objetos que lucen distintos (isomería), de forma que se propicie un enfoque constructivista del proceso de enseñanza-aprendizaje, es decir, que los estudiantes puedan deducir/inducir o ser productivos a partir de una adecuada construcción del conocimiento (Núñez, et al., 2008).

La visión tridimensional se logra con la incorporación de medios de enseñanza que favorecen la percepción tridimensional de los alumnos (Pérez, 2018); (Cabero-Almenara, 2018) tales como: los modelos reales de bolas para representar los átomos y los de bolas y varillas, que adicionan los enlaces al caso anterior (Betancourt, et al., 2013). Con el advenimiento de la era digital se extiende la modelación 3D virtual no solo a modelos moleculares, sino a otras representaciones gráficas tales como orbitales, densidad de carga, entre otros, y hoy resulta cotidiano su uso en los procesos de enseñanza-aprendizaje de la química (Martínez-Hung, H., García-López, A. & Escalona-Arranz, J. C., 2017).

Los dispositivos digitales (computadoras, móviles, tablets) forman parte omnipresente e importante de la vida de los profesores y estudiantes, en todos los niveles de enseñanza. Además, al formar parte fundamental del futuro entorno laboral se hace necesario no solo que los estudiantes adquieran conocimientos, sino que cuenten con las competencias básicas que les permitan vivir en un contexto tecnológico y en constante desarrollo. Esto hace imperativo que la educación se apropie de estas tecnologías que ya forman parte fundamental del contexto vital de los estudiantes, que condiciona su relación con el conocimiento y las emplee como herramientas para implementar y enriquecer la acción didáctica (Barroso & Gallego-Pérez, 2017); (Castañera-Quintero, Gutiérrez-Portlán & Román-García, 2014); (Trejo, 2014).

La Realidad Aumentada (RA), es una tecnología relativamente nueva relacionada con la realidad virtual (RV) que ofrece numerosas posibilidades educativas y un inmenso potencial para mejorar el aprendizaje y la enseñanza. Parte del principio

de que toda visualización que se cree mezclando el entorno real y el virtual, forma parte de una realidad mezclada (real + virtual), donde si el contenido es fundamentalmente virtual se habla de virtualidad aumentada, en tanto que si es fundamentalmente real se conoce como Realidad Aumentada (Figura 1).

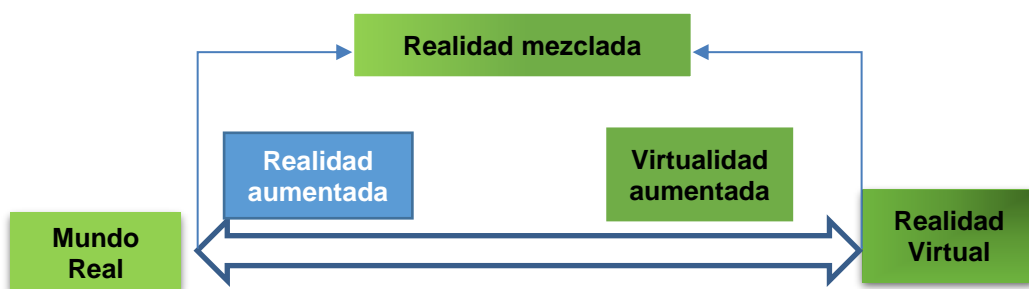


Fig. 1. Continuo de la virtualidad (tomado de Ruiz-Torres (2012)).

Entre las principales aplicaciones de esta tecnología en la enseñanza pueden señalarse aquellas que permiten ampliar la información cuando se visitan lugares históricos o museos donde se superponen informaciones adicionales, mapas o muestras de cómo era el lugar en diferentes momentos de la historia (Ruiz-Torres 2012); (Kamarainen, et al., 2013); la creación de juegos que se basan en el mundo real y son aumentados con datos en red que dan a los educadores maneras nuevas y útiles de mostrar relaciones y conexiones (Gutiérrez, 2018); la modelación de objetos que se pueden generar, manipular y hacer girar rápidamente (Bujak, et al., 2013); (Alvarez, 2017); la creación de libros aumentados, que son los característicos libros impresos, para los cuales se crea un programa de RA que convierte imágenes escogidas en marcadores de RA, observándose su representación 3D. La tecnología permite que cualquier libro pueda desarrollarse en una edición de realidad aumentada después de publicado (Lim, 2011); (Lee, 2012).

Por lo antes descrito, el objetivo del trabajo es crear modelos tridimensionales, empleando la RA, para la enseñanza de la Química en la Facultad de Ciencias Naturales, de la Universidad de Oriente, evaluar el resultado de su aplicación en las asignaturas Química Inorgánica II y Química de Materiales, pertenecientes a la carrera de Licenciatura Química y comprobar la influencia en la motivación,

comprensión de la asignatura y la opinión de su uso por parte de los estudiantes. Las asignaturas escogidas pertenecen a años diferentes de la carrera.

Metodología y Métodos

En la enseñanza de la química universitaria son comúnmente empleados los programas de modelación molecular y las bases de datos. Por otra parte, se encuentran relativamente pocas aplicaciones de la RA en esta enseñanza (Núñez, et al., 2008); (Almgren, et al., 2005); (Singhal, et al., 2012) en comparación con otras esferas del conocimiento. Quizás esto último se deba a que resulta poco visible, en la bibliografía revisada, un vínculo entre lo ampliamente conocido (programas de modelación molecular y las bases de datos) y lo novedoso (RA) a pesar de las ventajas demostradas en otras aplicaciones.

Por lo anterior y por experiencias propias, se decidió crear un grupo de modelos tridimensionales tanto moleculares, como de otro tipo (orbitales, estructuras cristalinas y representaciones diversas) que pueden representarse empleando la RA.

El programa seleccionado para crear los objetos virtuales fue el Blender v2.7 debido a su versatilidad y fortaleza para la creación de este tipo de objetos, mientras que para la visualización de la RA se empleó el programa Aumentaty en su versión 1.3. Este último cuenta con la ventaja de contar con una librería de marcadores y de estar orientado para usuarios que no tienen conocimientos de programación. Además, el Blender es un programa bajo licencia GNU PL, mientras que el Aumentaty permite su uso libre para aplicaciones no comerciales.

Se empleó el programa Chimera v1.4.1 (Pettersen, et al., 2004) para convertir los modelos moleculares en objetos gráficos tridimensionales. En la siguiente tabla se relacionan los programas empleados y la función de cada uno de ellos.

Tabla 1. Programas empleados, descripción y empleo.

Programas	Descripción	Función en el trabajo
Aumentaty v1.3	Programa de Realidad Aumentada	Visualizar y crear el ambiente de RA
Blender v2.7	Programa dedicado especialmente al modelado, iluminación, "renderizado",	Creación de objetos tridimensionales y la edición de contenido procedente del

	animación y creación de gráficos tridimensionales	UCSF Chimera. Exportar el contenido al formato de RA
UCSF Chimera v1.4.1	Programa para visualizar y editar modelos moleculares determinados experimentalmente o calculados. Enfocado fundamentalmente a biomoléculas	Importar modelos moleculares calculados o determinados experimentalmente y exportarlos para ser editados en Blender
WebCSD PDB	Bases de datos experimentales de las estructuras tridimensionales de compuestos químicos, de proteínas y ácidos nucleicos. Los datos son generalmente obtenidos mediante Difracción de Rayos-X	Proporcionar los datos geométricos de las moléculas escogidas
HyperChem v8.0.5	Programas para calcular estructuras, orbitales y propiedades moleculares.	Proporcionar geometrías moleculares, orbitales y propiedades calculadas.
Gaussian03w v6.0		
GaussView v3.0	Visualizador molecular	Generar modelos 3D de orbitales previamente calculados en el Gaussian03w

Se crearon modelos tridimensionales que se aplicaron en las asignaturas Química de materiales (4to año) y Química Inorgánica II (2do año), ambas asignaturas pertenecientes a la carrera de Licenciatura Química y a la disciplina de Química Inorgánica del Departamento de Licenciatura Química, de la Universidad de Oriente. El procedimiento de trabajo fue el siguiente:

1. Selección de los temas y tipología de las clases donde se aplicará la RA.
2. Selección de los objetos a representar.
3. Construcción de los objetos tridimensionales y conversión a la plataforma de RA.
4. Aplicación de la realidad aumentada en el proceso docente.
5. Validación de la aplicación mediante encuesta a los estudiantes.

La aplicación de la RA en las dos asignaturas y la selección de los temas se presentan a continuación.

Química Inorgánica II (QI-II)

La asignatura consta de dos temas, Compuestos de coordinación y Elementos de transición, de estos se escogió el tema de compuestos de coordinación por considerarse que la comprensión de las estructuras y los conceptos estudiados se vería favorecida con el empleo de modelos tridimensionales.

De un total de cinco conferencias, se escogieron tres para aplicar la RA, un seminario como trabajo práctico y dos clases prácticas (isomería y teoría del campo cristalino).

Los temas teóricos tratados fueron:

- Compuestos de coordinación. Teoría de Werner. Conceptos básicos, nomenclatura. Números de coordinación más comunes y su geometría.
- Isomería. Tipos de isomería, geométrica y estructural.
- Aplicación de la teoría del campo cristalino a los compuestos de coordinación (TCC).

Para el seminario, a cada grupo de estudiantes se le asignó un marcador (asociado a un compuesto de coordinación) e información básica del complejo (composición química elemental), debían analizarlo según las teorías estudiadas y la estructura del complejo.

En la actividad práctica de isomería, el empleo de la RA se enfocó fundamentalmente en la identificación de isómeros ópticos y para esto se crearon diferentes modelos de compuestos de coordinación fueran isómeros o no. En el caso de la actividad práctica relacionada con la teoría del campo cristalino, se emplearon varios modelos de la interacción de los ligandos en diferentes geometrías (diferentes números de coordinación), para que los estudiantes lograran predecir el diagrama de desdoblamiento correspondiente para cada una de ellas.

Obsérvese que requieren desarrollar habilidades con visión tridimensional para identificar geometrías, tipos de isomería, así como la disposición espacial de los orbitales d que condicionan dichas geometrías.

Los modelos representados fueron modelos moleculares de diferentes compuestos de coordinación, en algunos casos con sus respectivos isómeros ópticos y/o geométricos y representaciones de la distribución espacial de los orbitales *d*.

Química de materiales (QM)

La asignatura consta de dos temas, Estructura de sólidos y Síntesis y caracterización de materiales sólidos. Los modelos de RA fueron utilizados en el primer tema para favorecer la comprensión en los estudiantes de las estructuras de los sólidos de los tipos A, AB y AB₂.

Se empleó la RA en cuatro conferencias y una actividad práctica. Los temas tratados fueron:

- Cristaloquímica: enrejados cristalinos tipo A. Estructura cúbica simple, cúbica centrada en el cuerpo, cúbica centrada en las caras y hexagonal.
- Cristaloquímica: Modelos para la descripción de estructuras cristalinas tipo AB. Cloruro de cesio, Cloruro de sodio, Blenda de Cinc y Wurzita.
- Cristales reales. Defectos lineales (dislocaciones) y defectos estequiométricos de Schottky y de Frenkel en los cristales.

Los modelos permitieron la visualización de estructuras del tipo A (metales) y AB (sales binarias) lo que favorece el análisis de cada una. En particular, la mejor comprensión de las estructuras cristalinas favoreció el cálculo del número de coordinación y número de esferas por celda unidad, posición de cada partícula en la celda unidad, tipos y formas geométricas de los huecos o espacios vacíos en dichas celdas (trigonal, tetraédrico y octaédrico) que permitieron el cálculo de la densidad y longitud de la arista de la celda unidad, del tamaño del radio, diámetro y masa del átomo. Además, la visualización de los defectos estequiométricos y lineales contribuyeron al conocimiento de los sólidos reales y el importante papel de los mismos en los materiales.

Los modelos tridimensionales constituyen una herramienta indispensable para mejorar la visión del espacio tridimensional y la naturaleza microscópica de los materiales, lo que favorece la asimilación por los estudiantes de estos complejos contenidos y sin dudas, tributa al desarrollo de competencias profesionales por la

esencialidad de los contenidos de esta asignatura (cierra los aspectos relacionados con el estado sólido en la carrera) y por la forma sistémica con que se imparte la asignatura, articulándose armónicamente con las asignaturas del año, de la disciplina y de la carrera en su contexto más general.

Construcción de los modelos

Los modelos empleados fueron creados completamente empleando el programa Blender o mediante el empleo de Bases de datos experimentales o programas de modelación molecular (enriquecidos con información adicional en el Blender) y visualizados en el programa Aumentaty Author.

En la figura 2 y 3 se observan diferentes estructuras cristalinas, de las cuales algunas se construyeron completamente en el Blender y para otras se empleó el programa HyperChem.

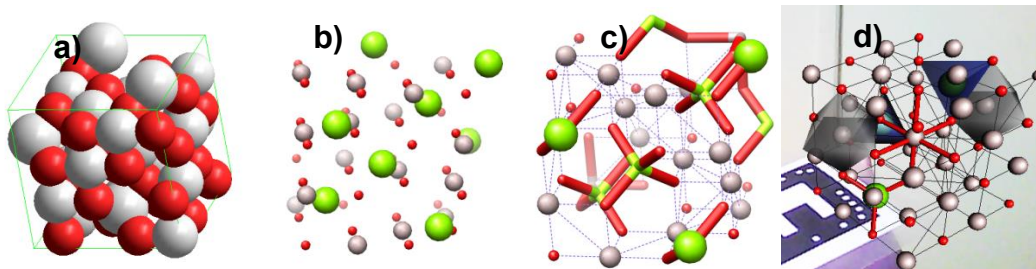


Fig. 2. Espinela Al-Mg (a) Tomada de la base de datos del “Hyperchem”, (b) Representación en el “UCSF Chimera” con la extensión. mol, (c) Representación en el “UCSF Chimera” con la extensión .xyz, (d) Editada, complementada en “Blender” y visualizada en el Aumentaty Author

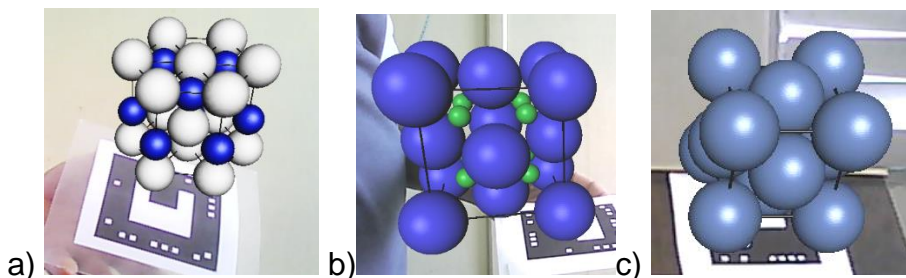


Fig. 3. Estructuras cristalinas construidas en “Blender” (a) ZnS, Wurzita (b) CaF2 (c) Estructura cúbica centrada en las caras de un metal

Validación de la aplicación mediante encuesta a los estudiantes

Se diseñó una encuesta, tipo Likert, de 11 ítems orientados a recoger información de los estudiantes en cuanto a su conocimiento previo de la RA, la disponibilidad de recursos para su aplicación, criterios motivacionales y criterios sobre la complejidad y extensión del uso de la RA en las asignaturas escogidas.

La encuesta tiene cinco niveles de respuesta:

1. Totalmente en desacuerdo
2. No totalmente de acuerdo
3. De acuerdo, pero ...
4. De acuerdo
5. Totalmente de acuerdo

Resultados

La encuesta se aplicó a 30 de los 35 estudiantes que cursaron las asignaturas (85.7), la relación encuestados/matrícula para cada asignatura fue 15/17 estudiantes que cursaron la Química Inorgánica II (2do año) y a 15/18 para la Química de Materiales (4to año, Química).

Se realizó un análisis estadístico mediante la prueba de Shapiro-Wilk para comprobar el tipo de distribución que seguían, obteniéndose como resultado que no constituye una distribución normal, por lo que se emplearon métodos no paramétricos para posteriores análisis. Con este resultado procedimos a responder la siguiente pregunta:

¿Las respuestas a las preguntas eran diferentes teniendo en cuenta el año de estudio?

Para responder esta pregunta se emplearon las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y de Wald-Wolfowitz (más confiable esta última por la cantidad de casos) para comprobar si las dos muestras pertenecían a la misma población, es decir que las respuestas de los estudiantes eran independientes del año y la carrera en los que se encontraban.

Los resultados de la Z de Kolmogorov-Smirnov fueron superiores a 0.05 y la cantidad de rachas de Wald-Wolfowitz fue alta en todos los casos (entre 21 y 30 de 30 casos). El año de estudio no influye en los resultados obtenidos, por tanto, se pueden analizar todos los datos como si pertenecieran a una misma población. En la prueba de Wald-Wolfowitz, la pregunta 3 es en la que menor valor se obtiene, lo que pudiera indicar que los estudiantes de 2do (QI-II) año tienen ligeramente mejor acceso a computadoras personales que los de 4to (QM), aunque de forma general la mayoría de los estudiantes manifiesta no contar con los medios necesarios tal y como se observa en los resultados de la tabla 2.

Además, en base a las preguntas podemos decir que el interés y la comprensión generado por la RA en los estudiantes no depende de la “experiencia académica” de los estudiantes.

Tabla 2. Resumen de los resultados de la encuesta

	Preguntas	N	Mínimo	Máximo	Mediana	Moda
1	Conozco el termino Realidad Aumentada	30	2	5	4	5
2	He empleado la Realidad Aumentada antes de este curso	30	1	5	1	1
3	Cuento con los recursos necesarios para el uso de la Realidad Aumentada en el estudio independiente	30	1	5	2	2
4	El empleo de la Realidad Aumentada en las clases me ayudó a mantener la atención en el transcurso de la asignatura	30	3	5	5	5
5	La Realidad Aumentada es tan compleja que me fue difícil emplearla	30	1	5	1,5	1
6	La interacción con la Realidad Aumentada me ayudó en la comprensión de la asignatura	30	3	5	5	5
7	La información que brinda la Realidad Aumentada me despertó o aumentó mi interés por la asignatura	30	2	5	4	5
8	La cantidad de actividades en las que se empleó la Realidad Aumentada fueron muy pocas	30	1	5	3	4
9	La variedad de temas presentados en Realidad Aumentada fue amplia	30	1	5	3	2
10	En la medida que trabajé con la Realidad Aumentada me sentí más seguro de que podía aprender con esta herramienta	30	2	5	4	4
11	Los modelos presentados en la Realidad Aumentada fueron poco atractivos	30	1	4	1	1
<p>1=Totalmente en desacuerdo 2=No totalmente de acuerdo 3=De acuerdo, pero... 4=De acuerdo 5=Totalmente de acuerdo</p>						

Discusión

Como se observa en la tabla 2, la dispersión de las respuestas es bastante grande (rango entre 1 y 5), excepto en las preguntas 4 y 6 lo cual es positivo, porque indica que existe mayor consenso en la opinión de los estudiantes que consideran que la RA es útil en las clases.

Las respuestas a las preguntas 1 y 2 indican que aunque la mayoría de los estudiantes manifiestan conocer el término de RA (mediana=moda= 5), pues participaron en las clases donde se empleó, constituyen mayoría los que no la habían empleado con anterioridad (mediana=moda= 1).

En cuanto al empleo de la RA para mejorar la comprensión de la asignatura y despertar la motivación de los estudiantes (ítems 4, 6 y 7). Se observa que la mayoría de ellos (moda= 5 en los tres casos, pero mediana=4 para el ítem 7) estiman que la RA contribuyó a mantener la atención, a la comprensión de las clases y a la motivación por la asignatura.

Las respuestas a la pregunta 5, que pretende medir la dificultad que tienen los estudiantes al usar la RA (moda= 1, mediana=1,5), defiende la hipótesis de que aun cuando la mayoría de los estudiantes emplearon la RA por primera vez, no les resulta difícil su utilización.

Sobre la cantidad y variedad de los temas escogidos para aplicar la RA (ítems 8 y 9), las respuestas indican, aunque no de forma general, los estudiantes no estaban conformes con la cantidad de actividades donde se aplicó la RA (mediana= 3 moda= 4). A la vez no todos concuerdan en que la variedad de temas es amplia, aunque la mitad aproximadamente está de acuerdo (moda=2 mediana=3). Lo anterior apunta a considerar que los alumnos sugieren con su respuesta que podría extenderse el uso de la RA, tanto en el número de temas escogidos, como en el número de actividades, lo que concuerda con los resultados de la apreciación de su utilidad para la comprensión y motivación por la asignatura.

Para precisar el análisis de las respuestas a las preguntas ocho y nueve, se realizó una prueba de la mediana para cada una de las asignaturas por separado. Los resultados indican que la mayoría de los estudiantes consideran apropiadas el

número de actividades en la asignatura Química Inorgánica II, en tanto que las opiniones se encuentran divididas para la Química de Materiales. En cuanto a la variedad de temas abordados con el empleo de la RA las opiniones se encuentran divididas para la Química de Materiales, mientras que para Química Inorgánica II consideran insuficiente la variedad de temas.

Tabla 3. Distribución de las respuestas por asignatura para las preguntas ocho y nueve (Mediana=3).

	Asignatura	
	Química Inorgánica II	Química de Materiales
Preg08 > Mediana	4	7
<= Mediana	11	8
Preg09 > Mediana	5	7
<= Mediana	10	8

Por último 26 de los 30 estudiantes encuestados consideran es posible emplear esta herramienta en otras asignaturas de su correspondiente año, al responder de forma positiva a la pregunta: ¿Considera Ud. que es posible aplicar esta herramienta en otras asignaturas de su año académico?

Conclusiones

Se crearon modelos tridimensionales que fueron visualizados, empleando la RA como un medio de enseñanza en dos asignaturas de años diferentes, de la carrera de Licenciatura Química, con resultados satisfactorios.

De acuerdo a los resultados de la encuesta, la RA motivó a los estudiantes y les facilitó la adquisición de conocimientos.

No se demostraron diferencias significativas en cuanto a las respuestas de los estudiantes de segundo y cuarto año de la carrera, lo cual parece indicar que la “experiencia” no influye en el empleo de la RA como medio de enseñanza.

Los estudiantes consideran que la herramienta puede emplearse en mayor grado en las asignaturas estudiadas y en otras asignaturas del año y por tanto de la carrera.

Referencias bibliográficas

- Almgren, J., Carlsson, R., Erkkonen, H., Fredriksson, J., Møller, S., Rydgård, H., Österberg, M., Bötschi K. & Fjeld, M. (2005). *Tangible User Interface for Chemistry Education: Visualization, Portability, and Database*. Paper presented at the SIGRAD, Linköping, Suecia.
- Alvarez, M. (2017). Realidad Aumentada como Apoyo a la Formación de Ingenieros Industriales. *Formación Universitaria*, 10 (2), 31-42.
- Barroso, J. & Gallego-Pérez, O. M. (2017). Producción de recursos de aprendizaje apoyados en Realidad Aumentada por parte de estudiantes de magisterio, *Revista de Educación Mediática y TIC (Edmetic)*, 6 (1), 23-38
- Betancourt, C., Delgado, M., Contreras, Y., Pujol Michelena, R. & Castro, S. (2013). Uso de modelos moleculares tridimensionales para la enseñanza del nivel submicroscópico de la materia en el curso fundamentos de química. *CONHISREMI, Revista Universitaria de Investigación y Diálogo Académico*, 9(1), 73-90.
- Bujak, K. R., Radu, I., Catrambone, R., MacIntyre, B., Zheng, R. & Golubski, G. (2013). A psychological perspective on augmented reality in the mathematics classroom. *Computers & Education*, 68, 536-544.
- Cabero-Almenara, J. (2018). Uso de la Realidad Aumentada como Recurso Didáctico en la Enseñanza Universitaria. *Formación Universitaria*, 11 (1), 25-34.
- Castañera-Quintero, L., Gutiérrez-Portlán I. & Román-García, M. (2014). Enriqueciendo la realidad: realidad aumentada con estudiantes de Educación Social. *@tic, Revista d'innovació educativa*, 12, 15-25.
- Gutiérrez, R. (2018). Aprendizaje de los Conceptos Básicos de Realidad Aumentada por Medio del Juego Pokemon Go y sus Posibilidades como Herramienta de Mediación Educativa en Latinoamérica. *Información Tecnológica*, 29 (1), 49-58.
- Kamarainen, A. M., Metcalf, S., Grotzer, T., Browne, A., Mazzuca, D., Shane Tutwiler, M., Dede, C. (2013). EcoMOBILE: Integrating augmented reality and probeware with environmental education field trips. *Computers & Education*, 68, 545-556.
- Lee, K. (2012). Augmented Reality in Education and Training. *TechTrends*, 56 (2), 13-21.
- Lim, C., Park, T. (2011). *Exploring the Educational Use of an Augmented Reality Books*.

Paper presented at the Annual Convention of the AECT. M. Simonson. Jacksonville, Florida. 2: 172-182.

Martínez-Hung, H., García-López, A. & Escalona-Arranz, J. C. (2017). Modelos de Realidad Aumentada aplicados a la enseñanza de la Química en el nivel universitario. *Rev. Cubana Quím.*, 29 (1), 13-25.

Muller Ulrich. (2006). *Inorganic Structural Chemistry*. 2^{da} edición, Inglaterra: Editorial John Wiley & Son Ltd.

Núñez, M., Quirós, R., Núñez, I., Carda, J. B. & Camahort, E. (2008). *Collaborative Augmented Reality for Inorganic Chemistry Education*. Paper presented at the IASME International Conference on ENGINEERING EDUCATION, Heraklion, Greece.

Pérez, C. (2018). La educación virtual interactiva, el paradigma del futuro. *Revista Atenas*, 4 (44), 144-157.

Pettersen E. F., Goddard, T. D., Huang, C. C., Couch, G. S., Greenblatt, D. M., Meng, E. C. & Ferrin T. E. (2004). UCSF Chimera--a visualization system for exploratory research and analysis. *J Comput Chem.*, 25 (13), 1605-1612.

Ruiz-Torres, D. (2012). La realidad aumentada: un nuevo recurso dentro de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) para los museos del siglo XXI. *Intervención*. 3 (5).

Singhal, S., Bagga, S., Goyal, P. & Saxena, V. (2012). Augmented Chemistry: Interactive Education System. *International Journal of Computer Applications*, 49 (15), 1-5.

Trejo, M. (2014). Retos y desafíos de las TIC y la innovación educativa. *Revista Atenas*, 4 (28) 130-143. Disponible en: <http://atenas.reduniv.edu.cu>

Zumdahl, S. & Zumdahl, S. (2007). *Chemistry*. 7^{ma} ed. Boston, New York: Edit. Houghton Mifflin Company.