

Modelos de Realidad Aumentada aplicados a la enseñanza de la Química en el nivel universitario

Augmented Reality Models Applied to the Chemistry Education on the University

Lic. Hassan Martínez–Hung^I, Dra.C. América García–López^I, Dr.C. Julio Cesar Escalona–Arranz^{II}
hmartinez@uo.edu.cu

^I*Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba;*
^{II}*Departamento de Farmacia, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba*

Recibido: 16 de junio de 2016

Aprobado: 24 de septiembre de 2016

Resumen

El objetivo del trabajo es crear objetos en Realidad Aumentada (RA) que se apliquen como medios de enseñanza en el estudio de compuestos químicos (complejos, proteínas, medicamentos), orbitales y estructuras cristalinas, y validar su aplicación en dos asignaturas de las carreras de Química y Farmacia en la Universidad de Oriente durante el curso 2015-16. Los objetos en RA se representan empleando el programa Augmentaty 1.3 que importa del programa Blender 2.7 las estructuras tridimensionales de los objetos. Las fuentes primarias para hacer la representación en RA fueron estructuras del propio programa Blender, así como datos geométricos experimentales tomados de la base de datos de Cambridge (WebCSD) o calculados por el programa Hyperchem 8.0.5. Se implementó su uso en las asignaturas Química Inorgánica II y Química Medicinal I, los resultados de su aplicación se discuten a partir del análisis de encuestas aplicadas a alumnos que participaron en el experimento pedagógico.

Palabras clave: realidad aumentada, química, enseñanza superior.

Abstract

The application of the Augmented Reality (AR) had been scarce on the teaching on the university level, that's why our goal is create AR models for its use tools in the study of chemicals compounds (coordination compounds, proteins, drugs ...), orbitals and crystalline structures, and probe its application in two courses of Chemistry and Pharmaceutical studies on the Universidad de Oriente during the course 2015-16. The AR models were presented with Aumentaty 1.3 and Blender 2.7 was the tridimensional creation program. The primary sources of the models were created on Blender, as geometrical experimental data from databases as Cambridge's WebCSD or calculated using Hyperchem 8.0.5. The AR models were used on Inorganic Chemistry II and Medicinal Chemistry I, the results of the experiment are discuss through the statistical analysis of a survey applied to the students.

Keywords: augmented reality, chemistry, higher education.

Introducción

El entendimiento de la Química descansa en la comprensión de la parte invisible de la materia, por tanto, la Química es representativa o simbólica. Tanto es así que se ha creado un sistema de símbolos especiales, tales como los símbolos químicos, ecuaciones de reacción, diagramas moleculares, modelos tridimensionales entre otros, para representar los fenómenos químicos los que se emplean para transmitir estos conocimientos [1].

No todas las personas presentan habilidades similares ante la percepción espacial y tridimensional, esto hace que muchos alumnos tengan problemas a la hora de visualizar mentalmente estructuras tridimensionales representadas en dos dimensiones y, aún más, analizar estos datos y sacar conclusiones acertadas. Asimismo, un gran número de ilusiones ópticas parten del simple hecho de la ambigüedad a la hora de representar objetos tridimensionales en dos dimensiones.

Estas ambigüedades que se producen en las representaciones e interpretaciones de imágenes y objetos tridimensionales, al ser representadas de forma bidimensional, unida al problema de las dificultades en el análisis y percepción tridimensional que pueden presentar los alumnos, provoca que:

- En muchas ocasiones no se asimilan correctamente conceptos importantes.
- Problemas que fácilmente se pueden resolver rotando una estructura o analizando sus elementos de simetría se convierten en casi irresolubles.
- Muchos alumnos terminan optando por memorizar las estructuras o soluciones de los problemas para el examen y luego olvidarlo, en vez de deducirlos a partir de conceptos mucho más simples que les pueden ayudar a una buena construcción del conocimiento [2].

Aunque el mundo que nos rodea es esencialmente tridimensional, los medios de enseñanza más comunes son los libros y las pizarras; en tanto bidimensionales, no reflejan adecuadamente dicha realidad. La visión tridimensional se logra con la incorporación de otros medios de enseñanza de la Química que favorecen la percepción de los alumnos tales como los modelos de bolas para representar los átomos y los de bolas y varillas que adicionan los enlaces al caso anterior [3].

Con el advenimiento de la era digital se extiende la modelación 3D 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. Dentro de los medios novedosos que pueden ser aplicados a la enseñanza de la Química está la Realidad Aumentada.

La Realidad Aumentada (RA) es una tecnología relativamente nueva relacionada con la realidad virtual (RV); el concepto de RA parte de que toda visualización (realidad) 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 [4].

La coexistencia de objetos virtuales y entornos reales permite al estudiante visualizar complejas relaciones espaciales y conceptos abstractos; permite visualizar objetos y fenómenos poco accesibles en el entorno del estudiante, interactuar con objetos bi y tridimensionales en la realidad mezclada y crear habilidades y conocimientos que no pueden ser igualmente desarrollados empleando otras tecnologías [5]. Por sus características, Kesim argumenta que la RA vendría a resolver el problema del aislamiento del usuario con el entorno virtual [6].

En el informe HORIZON de 2010, que describe las tecnologías emergentes que probablemente tendrán un fuerte impacto en la docencia, el aprendizaje o la investigación creativa en facultades y campus universitarios en los próximos cinco años, se incluye la RA prediciendo un horizonte de implantación de dos a tres años [7] y considera que tiene un gran potencial para proporcionar tanto experiencias de aprendizaje contextual e *in situ* valiosas, como de exploración y descubrimiento fortuito de la información conectada en el mundo real.

Entre las posibles aplicaciones de esta tecnología pueden citarse:

- Aplicaciones que transmiten información sobre un lugar, abriendo la puerta al aprendizaje basado en el descubrimiento. Los visitantes de lugares históricos pueden acceder a aplicaciones de RA que sobreponen mapas e información sobre cómo era un lugar en diferentes momentos de la historia [4, 8].
- Una modalidad que tiene una trascendencia especial en la enseñanza es el juego con Realidad Aumentada. Los juegos que se basan en el mundo real y son aumentados con datos en red ofrecen a los educadores maneras nuevas y útiles de mostrar relaciones y conexiones [9].
- La Realidad Aumentada también puede utilizarse para modelar objetos. Los modelos se pueden generar, manipular y hacer girar rápidamente [10-13]

- Los libros aumentados son aquellos que se imprimen de manera normal (bidimensional), y después los lectores instalan un programa especial en sus ordenadores y apuntan al libro con una cámara web para ver las visualizaciones. La tecnología permite que cualquier libro pueda desarrollarse en una edición de Realidad Aumentada después de publicarlo [14].

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 y evaluar el resultado de su aplicación en las asignaturas Química Inorgánica II y Química Medicinal I de las carreras de Química y Farmacia, respectivamente.

Materiales 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 la enseñanza de la Química [2, 15, 16] 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 programa cuenta con la ventaja de contar con una librería de marcadores y de estar orientado para usuarios que no tuvieran 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 para convertir los modelos moleculares en objetos gráficos tridimensionales.

Se crearon modelos tridimensionales que se aplicaron en las asignaturas Química General (Ingeniería Industrial, primer año), Química del estado sólido (Licenciatura Química, cuarto año), Química Inorgánica II (Licenciatura Química, segundo año), Química Cuántica (Licenciatura Química, tercer año) y Química Medicinal I

(Licenciatura en Ciencias Farmacéuticas, cuarto año). Los docentes fueron entrenados para el uso del programa salvo para Química General y Química Inorgánica II, donde el investigador coincide con el docente.

Para el experimento se seleccionaron las asignaturas Química Inorgánica II y Química Medicinal I. Las asignaturas fueron seleccionadas teniendo en cuenta que pertenecen a carreras y años diferentes, además de emplear diferentes sustratos (inorgánicos y orgánicos).

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.

Resultados y discusión

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 y un seminario como trabajo práctico.

Los temas teóricos tratados fueron:

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

El práctico consistió en un seminario, en el cual a cada grupo de estudiantes se asignó un marcador (asociado a un compuesto de coordinación), con el modelo e información básica del complejo debían analizarlo según las teorías estudiadas y la estructura del complejo.

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 Medicinal I (QM-I)

La asignatura consta de tres temas: Introducción a la Química medicinal (I), Fármacos activos sobre sistema nervioso (II) y Antibióticos y quimioterápicos de la infección (III). Se aplicó la RA en cuatro conferencias pertenecientes a los temas II y III.

Los temas de las conferencias seleccionadas fueron:

1. Fármacos activos sobre Sistema Nervioso Autónomo.
2. Fármacos activos sobre Sistema Nervioso Central.
3. Analgésicos.
4. Antibióticos beta-lactámicos: Penicilinas y cefalosporinas.

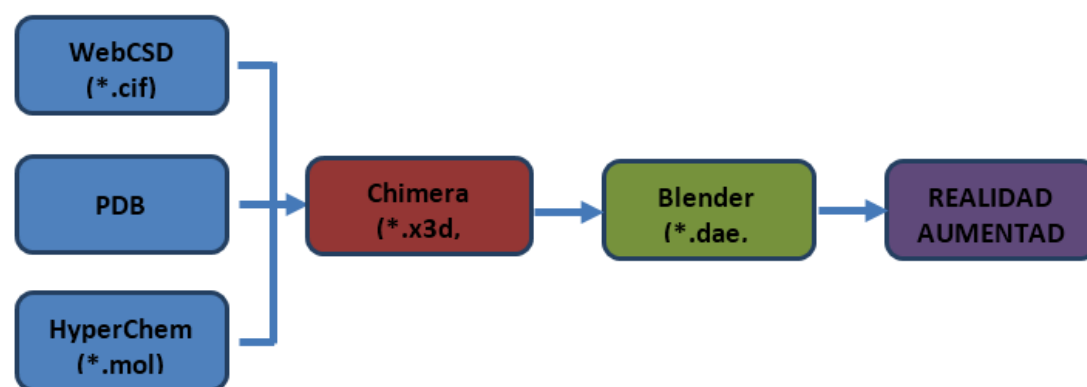
En estos casos se realizaron modelos moleculares de medicamentos y drogas de interés, exclusivamente. La aplicación de la realidad aumentada (RA) a esta asignatura contribuye al conocimiento y profundización de los aspectos estructurales de compuestos orgánicos con aplicación farmacéutica en función de reconocer las características estructurales que permitan identificar los diferentes grupos de fármacos en estudio.

Construcción de los objetos tridimensionales y conversión a la plataforma de RA

Los modelos creados fueron de tres tipos atendiendo a la fuente primaria empleada para su construcción:

- Importados de programas de modelación molecular o de geometrías experimentales tomadas de bases de datos.
- Construidos en el programa Blender.
- Mixtos, enriqueciendo los modelos importados con elementos creados en el programa Blender que ayuden a la comprensión.

El esquema de trabajo seguido para emplear las estructuras moleculares importadas se presenta a continuación; esta metodología es extensible a otras fuentes de modelos moleculares gracias a la gran variedad de formatos aceptados por el programa Chimera, además pueden ser usados otros programas de diseño gráfico tridimensional similares al Blender.



Esquema 1. Procedimiento para crear contenido de realidad aumentada a partir de programas de modelación molecular o bases de datos experimentales

En la figura 1 se muestran la representación en RA de estructuras moleculares importadas de datos experimentales de la base de datos de Cambridge.

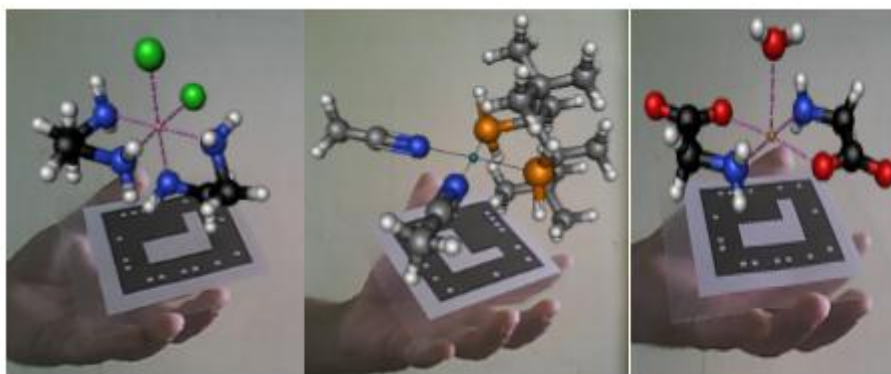


Figura 1. Modelos moleculares de compuestos de coordinación empleados en Química Inorgánica II

En Química Medicinal I todas las estructuras moleculares fueron modeladas teóricamente empleando el programa Hyperchem v8.0.5. Sin embargo, en la mayoría de los casos fue necesario superponerles elementos construidos en Blender que representaran aromaticidad y enlaces múltiples que se pierden en el proceso de conversión (figura 2).

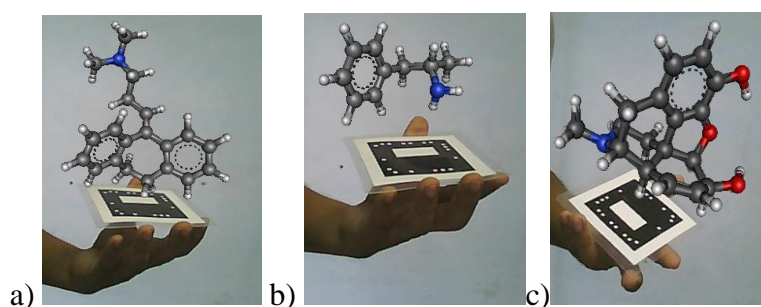


Figura 2. Modelos moleculares de medicamentos y drogas empleados en Química Medicinal I. a) amitriptilina b) dexanfetamina c) morfina

En la figura 3 se muestran representaciones de RA objetos creados completamente en el programa Blender, donde se representan orbitales y geometrías empleados en la asignatura Química Inorgánica II

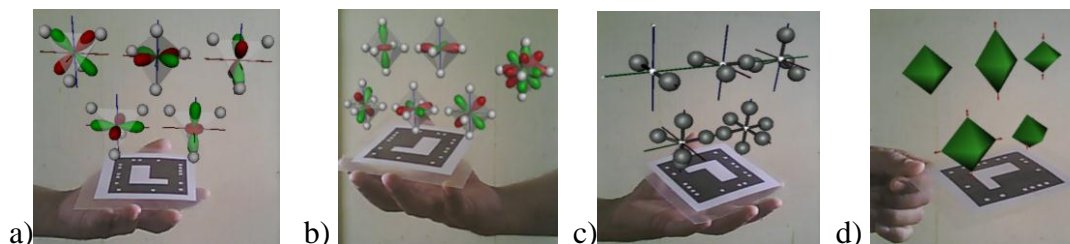


Figura 3. a) Desdoblamiento tetraédrico según la TCC d) Desdoblamiento octaédrico según TCC c) Geometría según TRPEV d) Geometría octaédrica, posibles distorsiones

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

La encuesta fue aplicada a 32 de los 34 estudiantes que cursaron las asignaturas (94 %), de ellos la relación encuestados / matrícula fue 15/17 para la Química Inorgánica II y 17/17 para Química Medicinal I.

A los resultados obtenidos se realizó un análisis estadístico mediante la prueba de Shapiro–Wilk para comprobar que tipo de distribución seguían y, según los resultados, proceder con los análisis posteriores, obteniéndose como resultado que estos no seguían una distribución normal, por lo que debían emplearse métodos no paramétricos para posteriores análisis. Con este resultado se procedió a responder la siguiente pregunta:

¿Las respuestas a las preguntas eran diferentes para las dos carreras?

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 era independientes del año y de la carrera en la que se encontraban y tomando el año como variable independiente.

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 25 y 32 de 32 casos), indicando que la carrera o el año de estudio no influyen en los resultados obtenidos, por tanto se pueden analizar todos los datos como si pertenecieran a una misma población.

Además, en base a las preguntas puede afirmarse que el interés y la comprensión generado por la RA en los estudiantes no depende de la “experiencia académica” de los estudiantes (los estudiantes encuestados son de años diferentes) ni de la carrera (en este caso Química y Farmacia). En la tabla 1, se muestra un resumen de los resultados obtenidos.

TABLA 1. RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LA ENCUESTA

	Preguntas	N	Mínimo	Máximo	Mediana	Moda
1	Conozco el termino Realidad Aumentada	32	2	5	5	5
2	He empleado la Realidad Aumentada antes de este curso	32	1	5	1	1
3	Cuento con los recursos necesarios para el uso de la Realidad Aumentada en el estudio independiente	32	1	5	3	2
4	El empleo de la Realidad Aumentada en las clases me ayudó a mantener la atención en el transcurso de la asignatura	32	2	5	5	5
5	La Realidad Aumentada es tan compleja que me fue difícil emplearla	32	1	5	1,5	1
6	La interacción con la Realidad Aumentada me ayudó en la comprensión de la asignatura	32	3	5	5	5
7	La información que brinda la Realidad Aumentada me despertó o aumentó mi interés por la asignatura	32	2	5	4	5
8	La cantidad de actividades en las que se empleó la Realidad Aumentada fueron muy pocas	32	1	5	2	2
9	La variedad de temas presentados en Realidad Aumentada fue amplio	32	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	32	2	5	4	5
11	Los modelos presentados en la Realidad Aumentada fueron poco atractivos	32	1	5	1	1

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

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

Los criterios relacionados con los ítems 1 y 2 presentan una amplia dispersión en las respuestas, pero los valores obtenidos 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, siendo mayoría los que nunca la habían empleado con anterioridad (mediana=moda= 1).

Los ítems que indagan sobre la percepción del empleo de la RA para mejorar la comprensión de la asignatura y despertar su motivación (ítems 4, 6 y 7) indican que la mayoría de los estudiantes (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.

La valoración de las respuestas del ítem 5, que pretende medir la dificultad que pudieran presentar los estudiantes al enfrentarse a 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.

Las respuestas a los ítems donde se indaga sobre la cantidad y la variedad de los temas en los cuales se emplea la RA (ítems 8 y 9), muestra una percepción de que aunque concuerdan en que el número de actividades en las cuales se empleó la Realidad Aumentada fueron adecuadas (mediana=moda= 2) no todos concuerdan en la variedad de temas fuera amplio aunque la mitad aproximadamente estuviera de acuerdo (moda=2 mediana=3). Lo anterior apunta a considerar que los alumnos de algún modo sugieren con su respuesta que podría extenderse el uso de la RA principalmente con el incremento de las temáticas en las que se emplee esta tecnología, lo que concuerda con los resultados de la apreciación de su utilidad para la comprensión y motivación por la asignatura.

Para la aplicación de la RA en el estudio independiente, los estudiantes requieren una computadora, o dispositivo portátil, con el programa instalado con los modelos, una cámara acoplada y un juego de marcadores. Con el fin facilitar el empleo a los estudiantes que no poseían los recursos necesarios (computadoras o dispositivos portátiles) se habilitó en cada laboratorio una computadora y un juego de marcadores. A los estudiantes que poseían estos medios se les instaló el programa y se les facilitaron los modelos.

Sin embargo, al analizar la respuesta del ítem 3, aproximadamente la mitad de los estudiantes considera que no contaban con los recursos necesarios para emplear la RA en el estudio independiente (moda=2 mediana=3), respuesta que sigue la lógica de que no son mayoría los que cuentan con recursos personales para emplear la técnica según sus necesidades en cualquier momento.

Además, se agregó otra pregunta de selección para determinar si los encuestados consideraban que era recomendable extender el uso de la RA a otras asignaturas de sus respectivas carreras. La gran mayoría de los estudiantes (29 de 32) consideran que es

posible extender el uso de esta herramienta a otras asignaturas de sus respectivas carreras.

Conclusiones

- 1. Se incorpora la RA al sistema de medios de enseñanza en las asignaturas Química Inorgánica II y Química Medicinal I orientada fundamentalmente a la representación de estructuras moleculares, orbitales y elementos de simetría.*
- 2. Se propone un procedimiento para transferir la información de las estructuras moleculares generadas por los programas de diseño molecular a formatos empleados por los programas para crear RA, lo que permita la creación de objetos de RA por profesores de Química no especialistas en programación.*
- 3. La valoración de los estudiantes de las asignaturas donde se aplicó la Realidad Aumentada muestra que la misma contribuyó a incrementar el interés por las asignaturas ya aumentar su comprensión de los contenidos.*

Referencias bibliográficas

1. KOZMA, R. B., RUSSELL, J. "Multimedia and Understanding: Expert and Novice Responses to Different Representations of Chemical Phenomena", JOURNAL OF RESEARCH IN SCIENCE TEACHING. 1997, **34** (9) 949–968.
2. NÚÑEZ, M., QUIRÓS, R., NÚÑEZ, I., CARDA, J. B., CAMAHORT E. Collaborative Augmented Reality for Inorganic Chemistry Education. IASME International Conference on engineering education. Heraklion, Greece, 2008: 271-277.
3. BETANCOURT, C., DELGADO, M., CONTRERAS, Y., PUJOL MICHELENA, R., CASTRO, S. "Uso de modelos moleculares tridimensionales para la enseñanza del nivel submicroscópico de la materia en el curso fundamentos de química", Revista Universitaria de Investigación y Diálogo Académico. 2013, **9** (1) 73-90.
4. RUIZ-TORRES, D. "Realidad aumentada, educación y museos", ICONO 14. 2011, **2** 212-226.

5. CUENDET, S., BONNARD, Q., DO-LENH S., DILLENBOURG P. "Designing augmented reality for the classroom", *Computers & Education*. 2013, **68**, 557-569.
6. KESIM, M., OZARSLAN, Y. "Augmented reality in education: current technologies and the potential for education", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 2012, **47**, 297 – 302.
7. JOHNSON, L., SMITH, R., LEVINE, A., STONE, S. *The 2010 Horizon Report: Edición en español*. 7 edn. Austin, Texas: The New Media Consortium, 2010.
8. KAMARAINEN, A. M., METCALF, S., GROTZER, T., BROWNE, A., MAZZUCA, D., SHANE TUTWILER, M., DEDE, C. "EcoMOBILE: Integrating augmented reality and probeware with environmental education field trips", *Computers & Education*. 2013, **68**, 545–556.
9. CIEUTAT, J. M., HUGUES, O., GHOUAIEL, N. "Active Learning based on the use of Augmented Reality Outline of Possible Applications: Serious Games, Scientific Experiments, Confronting Studies with Creation, Training for Carrying out Technical Skills", *International Journal of Computer Applications*. 2012, **46**(20) 31-36.
10. BUJAK, K. R., RADU, I., CATRAMBONE, R., MACINTYRE, B., ZHENG, R., GOLUBSKI, G. "A psychological perspective on augmented reality in the mathematics classroom", *Computers & Education*. 2013, **68**, 536-544.
11. FJELD, M., VOEGTLI, B. M. *Augmented Chemistry: An Interactive Educational Workbench*. IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2002). 2002: 259-260.
12. HUNG-LIN, C., SHIH-CHUNG, K., XIANGYU, W. "Research trends and opportunities of augmented reality applications in architecture, engineering, and construction", *Automation in Construction*. 2013, **33**, 116-122.
13. EL-SAYED, N. A. M., ZAYED, H. H., SHARAWY, M. I. "ARSC: Augmented reality student card. An augmented reality solution for the education field", *Computers & Education*. 2011, **56**, 1045-1061.

14. LEE, K. "Augmented Reality in Education and Training", TechTrends. 2012, **56** (2) 13-21.

15. ALMGREN, J., CARLSSON, R., ERKKONEN, H., FREDRIKSSON, J., MØLLER, S., RYDGÅRD, H., ÖSTERBERG, M., BÖTSCHI K., FJELD, M. Tangible User Interface for Chemistry Education: Visualization, Portability, and Database SIGRAD. Linköping University, 2005: 19-24.

16. SINGHAL, S., BAGGA, S., GOYAL, P., SAXENA V. "Augmented Chemistry: Interactive Education System", International Journal of Computer Applications. 2012, **49** (15) 1-5.