

Middleware aplicado a la simulación de fluidos con técnicas de Realidad Aumentada

J.L. López¹, D. Villanueva²⁻³, H. Estrada³, M. R. Zarate⁴

¹ Computer Science Department, Universidad Carlos III de Madrid, Av. Universidad 30, 28911 Leganés, Madrid. Spain.

² CONACyT Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Dirección de Cátedras, Insurgentes Sur 1582, Crédito Constructor, 03940, Ciudad de México, México.

³ INFOTEC Center of Research and Innovation in Information Technology Communications. Circuito Tecnopolo Sur 112, Tecnopolo Pocitos II, 20313, Aguascalientes, Ags., México.

⁴ Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz. Av. Universidad No. 350 Carretera Federal Cuitláhuac - La Tinaja, Dos Caminos, Cuitláhuac, Ver., México.

jesusleonardo.lopez@alumnos.uc3m.es,
daniel.villanueva@infotec.mx, hugo.estrada@infotec.mx,
maria.zarate@utcv.edu.mx

Resumen. Actualmente, la tecnología de Realidad Aumentada se implementa en diferentes disciplinas que brindan múltiples soluciones al mundo real. Por lo tanto, un progreso constante para el desarrollo de herramientas y software en áreas de investigación que van desde el entretenimiento y educación hasta el campo de la medicina. Del mismo modo, el conocimiento y la aplicación de la tecnología de Realidad Aumentada se extiende a áreas que no están directamente relacionadas con la computación. En este artículo, se presenta un middleware como un puente entre un proyecto de simulación de fluidos y Realidad Aumentada. El trabajo facilita el manejo de la información sobre los fluidos. Además, permite la visualización de objetos con técnicas de Realidad Aumentada. El middleware integra módulos para la administración, el manejo de los fluidos y el uso de los modelos de Realidad Aumentada. Finalmente, su aplicación sirve como una herramienta experimental para un proceso de enseñanza-aprendizaje en educación, específicamente en el área de las ciencias químicas.

Palabras clave: Middleware, Simulación de Fluidos, Realidad Aumentada.

Middleware Applied to the Simulation of Fluids with Augmented Reality Techniques

Abstract. Nowadays, Augmented Reality technology is implemented in different disciplines which provides multiple solutions to the real world. Therefore, a constant progress for the development of tools and software in research areas ranging from entertainment and education to the field of medicine. In the same way, the knowledge and application of Augmented Reality technology extends to areas

that are not directly related to computing. In this article, we present a middleware which as a bridge between a fluid simulation project and the Augmented Reality. The work facilitates the handling of information about fluids. In addition, it allows the visualization of objects with Augmented Reality techniques. Besides, the middleware integrates modules for administration, fluid management and the use of Augmented Reality models. Finally, its application serves as an experimental tool for a teaching-learning process in education, specifically in the area of chemical sciences.

Keywords: Middleware, Fluid Simulation, Augmented Reality.

1 Introducción

Mediante la implementación de técnicas de Realidad Aumentada (RA), se han incrementado considerablemente el desarrollo de aplicaciones para diferentes áreas de aplicación, que van desde la medicina [1], hasta el entretenimiento [2]. Asimismo, en la explotación en otras áreas que no se encuentran relacionadas directamente con la informática. Por ejemplo, en áreas de la educación [3]. El desarrollo de aplicaciones que utilizan esta tecnología resulta de interés para su uso en áreas como la educación, ya que permiten simular procesos que proporcionan una visión distinta, en consecuencia, ratifican el entendimiento sobre cómo se comportan algunos elementos en diferentes entornos y situaciones. Por un lado, la RA permite identificar nuevos usos o estrategias para el uso de distintos elementos en diferentes campos de aplicación. Por otro lado, la simulación de fluidos se aplica en ramas cuyo propósito es representar fluidos de diferentes entornos y situaciones, esto puede ir desde una explosión en un videojuego, hasta simulaciones de reacciones químicas [4] y [5]. En este contexto, la simulación se emplea en diferentes áreas, tales como, la electrónica [6], robótica [7], nanotecnología [8], mecánica [9], sistemas computacionales [10], entre otros. Sin embargo, la química es una de las disciplinas que se emplea en los procesos físicos, matemáticos y de mecánica de los fluidos, ya que se pueden representar las características de los fluidos bajo diferentes situaciones [11]. Por lo tanto, la RA puede ser empleada en el área de las ciencias químicas para enseñar a estudiantes sin la necesidad de un laboratorio físico y, sobre todo, sin el peligro que pueden llegar a representar el uso de fluidos. El presente trabajo de investigación propone la creación de un middleware, el cual, combina el uso de un método de simulación de fluidos y un marco de trabajo de RA con modelos 3D. La integración permite la simulación de diferentes tipos de fluidos y sus distintas características. Finalmente, se ha desarrollado una aplicación para el análisis del comportamiento de los fluidos en un entorno de RA, la herramienta impacta en el área de la educación, específicamente en estudiantes a nivel secundaria en la materia de química.

2 Trabajo previo

2.1 Realidad Aumentada

El término realidad aumentada fue considerado por dos ingenieros en 1962 [12]. Sin embargo, el término adquiere presencia en el mundo científico a principios de los años 90s cuando la tecnología basada en ordenadores de procesamiento rápido, técnicas de renderizado de gráficos en tiempo real y sistemas de seguimiento de precisión portables, permitieron implementar la combinación de imágenes generadas por el ordenador sobre la visión del mundo real que tiene un usuario [13]. Actualmente, existen muchas aplicaciones que se encuentran asociadas a objetos del mundo real. Por ejemplo, Tom y David en la empresa Boeing propusieron el uso de esta tecnología para mejorar la eficiencia de las tareas que realizaban los operadores asociados a la fabricación de aviones [14] o quizá una de las aplicaciones más conocidas de la RA en la educación sea el proyecto Magic Book del grupo activo HIT de Nueva Zelanda donde el alumno lee un libro real a través de un visualizador de mano y ve sobre las páginas reales contenidos virtuales. De esta manera cuando el alumno ve una escena de RA que le gusta puede introducirse dentro de la escena y experimentarla en un entorno virtual inmersivo [15]. Ronald presenta un estudio de aplicaciones en diferentes áreas utilizando técnicas de RA [16]. Por un lado, la RA se encarga de estudiar las técnicas y tecnologías que permiten integrar en tiempo real el contenido digital con el mundo real [17]. A diferencia de la realidad virtual, la realidad aumentada permite generar capas de información que, a su vez, se encargan de alinear la información virtual para crear una integración de los datos. No obstante, el término no debe ser confundido con el de realidad mixta, pues integra realidad aumentada, realidad virtual y virtualización aumentada superponiendo la interacción de objetos reales junto a objetos virtuales [18] y [16]. Azuma menciona que la realidad aumentada debe cumplir tres características: combinar el mundo real y virtual, interactuar en tiempo real y la alineación en 3D [3]. Por otro lado, la RA se usa para describir la combinación de tecnologías que permiten mezclar en tiempo real, el contenido generado por computadora con video en vivo [19]. Además, se utiliza en múltiples escenarios para la simulación, construcción, diseño, entre otros. La RA mantiene una diferencia con la realidad virtual, ya que la RA es un ambiente completamente virtual y sintético, todo ocurre dentro de la computadora sin interacción con el exterior y la realidad aumentada hace una combinación de elementos del mundo real con elementos virtuales, además en la realidad virtual todo es un ambiente completamente virtual [20].

2.2 Simulación de fluidos

La simulación de fluidos es una herramienta muy utilizada para la generación de gráficos por computadora que permiten generar animaciones realistas, tales como, agua, humo, explosiones, y fenómenos relacionados [21]. Dada alguna configuración de entrada de un fluido y una geometría de escenario, un simulador de fluidos realiza

la evolución del movimiento del fluido hacia adelante en el tiempo, haciendo uso de las (posiblemente muy simplificadas) ecuaciones de Navier-Stokes que describen la física de los fluidos [22]. En los gráficos por computadora, tales simulaciones varían en complejidad desde animaciones de alta calidad que consumen una cantidad notable de tiempo para efectos visuales y de películas, hasta sistemas simples de partícula en tiempo real usados en juegos modernos. Para poder simular fluidos en dispositivos electrónicos como lo son computadoras y celular se desarrollaron métodos de simulación que permiten el trabajo sobre GPU (Graphics Process Unity) en este caso SPH que es un método de simulación de fluidos en tiempo real sobre procesadores gráficos [23]. La simulación de fluidos permite la creación de simulaciones gráficas y al mismo tiempo, la representación de diferentes tipos de fluidos; estos pueden ir desde una gota de agua hasta una explosión, este tipo de simulaciones son muy utilizadas sobre todo en las ramas de la física y en la creación de videojuegos donde se genera un mayor realismo [24]. Asimismo, la simulación de fluidos conlleva varios aspectos, uno de estos es la precisión que se requiere cuando se desea interactuar con dichos fluidos, actualmente existen varios métodos pertenecientes a la rama de mecánica de los fluidos (dinámica de fluidos) que permite una simulación de fluidos en tiempo real [25]. Actualmente, los laboratorios en el área de la química requieren de equipos e instrumentos para la realización de diferentes pruebas de experimentación sobre distintos tipos de reacciones químicas, tales como, matraces, pipetas, probetas, etc. Por un lado, la obtención de estos instrumentos a largo plazo genera gastos, por consiguiente, el hecho de que las personas que realizan dichas pruebas se expongan a riesgos inherentes al manejo de diferentes sustancias. Por lo tanto, el presente trabajo propone el desarrollo un middleware que trabaje en conjunto con la RA y Simulación de Fluidos, que sirvan como una herramienta de experimentación para el manejo de diferentes elementos y fluidos líquidos en un área de enseñanza en la educación.

2.3 Middleware

Un middleware se define como un software de conectividad que consiste en un conjunto de servicios que permiten interactuar a múltiples procesos que se ejecutan en distintas máquinas a través de una red. Además, oculta la heterogeneidad y provee de un modelo de programación conveniente para los desarrolladores de aplicaciones [26]. Asimismo, es un software que puede incrementar significativamente la reusabilidad mediante soluciones utilizables rápidamente y basadas en estándares aplicables a problemas y tareas comunes en programación. Al mismo tiempo, permite concentrarse en asuntos propios de la aplicación y olvidarse de problemas comunes, estructurales o no, ya resueltos previamente de forma elegante y satisfactoria [27]. También un middleware es una clase de tecnología que posee una abstracción de programación común diseñada para ayudar a gestionar la complejidad y heterogeneidad de los sistemas distribuidos [28], generalmente es una aplicación de software que asiste a una aplicación para poder comunicarse con otras aplicaciones.

2.4 Marcadores

Un marcador visual es una imagen que contiene algún código preestablecido, el cual puede ser decodificado por un dispositivo para el reconocimiento de objetos o transferencia de información [29]. La RA usa marcadores cuya principal característica es el uso de imágenes llamadas marcadores. Por lo tanto, la cámara reconoce los marcadores, busca la imagen asociada y la coloca sobre el marcador. El marcador puede estar impreso en una hoja de papel para que la cámara logre reconocer el marcador, sin verse afectado por el brillo y contraste que existe en el ambiente [30] y [31].

3 Arquitectura de Software propuesta

La arquitectura de software integra un conjunto de estructuras, propiedades y relaciones que conforman el “edificio” que dará soporte a la solución software que se va a desarrollar y, además su implementación es de vital importancia, básicamente por tres razones claves; La primera, facilita la comunicación entre las partes interesadas en el desarrollo del software. La segunda, puede tomar decisiones tempranas y evitar un impacto mayor en una etapa posterior del desarrollo del proyecto. La tercera razón es porque permite comprender fácilmente la estructura y el flujo de trabajo de sus componentes. Además, la arquitectura de software es considerada un puente entre la fase de diseño y la ingeniería de requerimientos, debido a que tiene una relación directa entre decisiones de arquitectura y los requisitos. Se ha identificado que, a pesar de que la mayoría de los sistemas son distintos entre sí, existen algunas similitudes entre las arquitecturas de los mismos [32]. Sommerville, también coincide en que los patrones son una forma de presentar, compartir y, sobre todo, reutilizar el conocimiento sobre los sistemas de software. Además, agrega que un patrón arquitectónico es una descripción abstracta estilizada de buena práctica, que se ensayó y se puso a prueba en diferentes sistemas y entornos, de tal forma que se pueda demostrar que el estilo arquitectónico propuesto tuvo éxito en sistemas anteriores. Asimismo, agrega que los patrones no son aptos para todos los problemas y es por eso que a la hora de definirlo, debe dejarse en claro qué problema resuelve, cuándo es conveniente utilizarlo y cuáles son sus fortalezas y debilidades [33]. Para comprender la arquitectura se hace uso de diagramas que son la representación visual del software y la forma en que a sido implementado, mismos que otorgan una perspectiva clara y detallada de su estructura.

3.1 Vista física del software propuesto

La vista física de la arquitectura del sistema muestra la interacción entre los elementos que la componen, por un lado la aplicación de escritorio que se encarga de gestionar los fluidos y la generación del marcador personalizado y por otra parte, la aplicación móvil que hace uso de los marcadores, para la representación visual de los elementos.

Además, el flujo de la información entre los diferentes componentes del software que tiene como actor principal al middleware, ver Fig. 1.

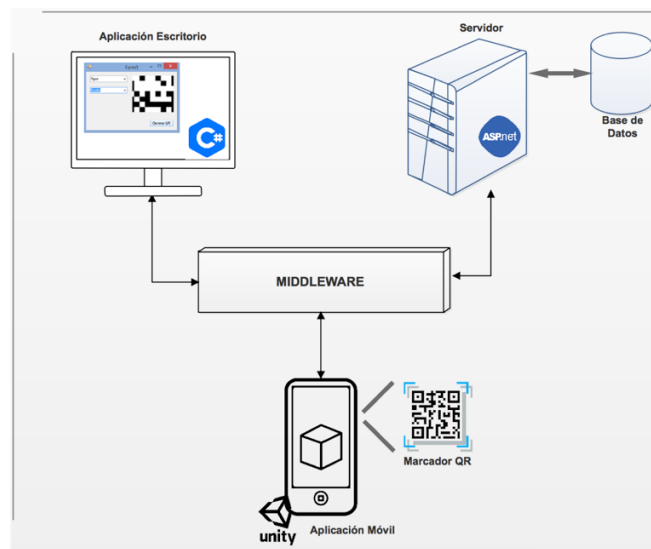


Fig. 1. Vista física del sistema implementando el middleware.

Una descripción de los componentes del software se realiza a continuación:

- **Aplicación de escritorio**, tiene como objetivo la configuración de un fluido y la generación de un marcador personalizado, que posteriormente podrá ser utilizado para su representación mediante RA.
- **Servidor & Base de Datos**, se encargan de controlar las peticiones y respuestas de datos y el almacenamiento de la información relacionada de los fluidos y los marcadores.
- **Aplicación móvil**, realiza las peticiones hacia la coincidencia encontrada entre el marcador identificado y su representación al modelo de RA.
- **Middleware**, es el intermediario que administra la comunicación entre los diferentes módulos del sistema, una de sus funciones principales para este trabajo, es asegurar que las peticiones hacia los datos obtengan una respuesta correcta. En el caso de estudio propuesto, asegura la conexión entre aplicaciones con tecnologías distintas.

Con la implementación del middleware se limita la cantidad de trabajo y proceso que el dispositivo móvil tiene que llevar a cabo, ya que la carga de configuración del fluido y la generación del Marcador, se deja a la aplicación de escritorio. Por lo tanto, la única tarea que procesa el móvil es la representación de los elementos, en este caso, de los fluidos.

3.2 Arquitectura del software

La aplicación de escritorio se desarrolla bajo el patrón arquitectural MVC (Modelo, Vista, Controlador), cuyo propósito es separar las capas de la aplicación, es decir, si un elemento de la capa vista requiere la interacción con un elemento de la capa del modelo (base de datos), esta petición deberá ser atendida por el controlador, ya que es el encargado de controlar las peticiones entre la aplicación [34] y [35]. Al patrón MVC implementado se le añade la comunicación con una capa middleware para que en conjunto provea de la funcionalidad requerida. Unity es un motor para crear videojuegos multiplataforma creado por Unity Technologies. Es una plataforma de desarrollo para Windows y OS X, además permite la creación de videojuegos para Windows, OS X, Linux, Xbox 360, Play Station 3, Wii, Wii U, iPad, iPhone, Android y Windows Phone [36] y [37]. En este trabajo, Unity se implementa como una herramienta para el diseño y creación de los modelos 3D, ya que su motor de videojuegos permite hacer uso de esos modelos y exportarlos.

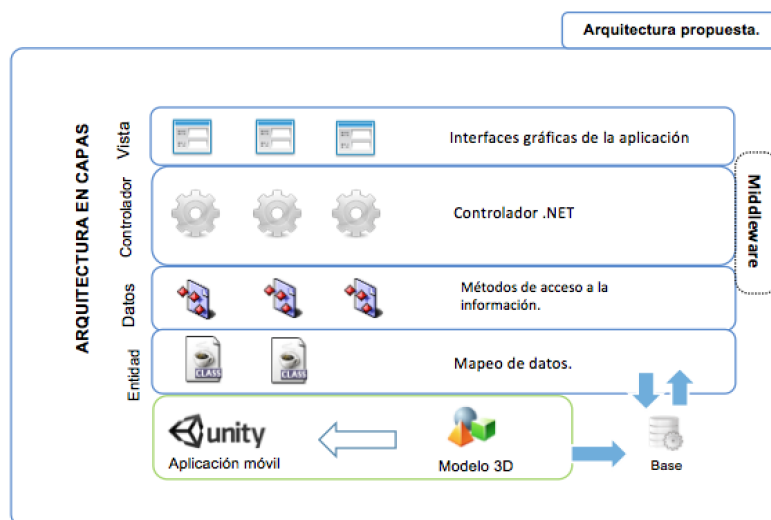


Fig. 2. Arquitectura lógica del software.

La arquitectura lógica del software propuesta para el simulador de fluidos, se implementa bajo el patrón arquitectural MVC, la cual permite agregar la capa del middleware. La Fig. 2, muestra las capas y los componentes que las conforman, las cuales se describen a continuación.

- **Capa Vista.** Se encarga de desplegar la interfaz gráfica, que permiten la interacción con el usuario.

- **Capa Controlador.** Esta capa funciona como un intermediario entre las diferentes capas de la aplicación, cualquier petición que se realice por parte de usuario o almacenar en la base de datos tendrá que ser el controlador el que realice las llamadas a los métodos o instancias necesarias para hacer dichas tarea.
- **Capa Entidad & Datos.** En esta capa se encuentran los componentes necesarios para manejo y aseguramiento de la integridad de la información, por ejemplos los métodos de consulta, inserción, modificación y eliminación de la información que se maneja en el sistema.
- **Middleware.** Se visualiza como parte de la arquitectura, para conocer que existe una comunicación con la aplicación de escritorio y integración con el sistema.

En este trabajo se hace uso del software Unity 3D¹ como una herramienta para la manipulación completa de objetos 3D y, se hace uso de Vuforia como el plug-in que se agrega a Unity, el cual, implementa la aplicación que permite visualizar los objetos 3D con RA.

4 Evaluación y Discusión

La implementación de un middleware aplicado a la simulación de fluidos permite la comunicación entre los diferentes módulos del sistema utilizando técnicas de RA, los resultados sobre el desarrollo e implementación se describen a continuación. Por un lado, las propiedades que se consideran para de cada fluido son, nombre, viscosidad, masa molar, densidad, color y un código. En cuanto al código, es asignado de manera automática por el sistema, los datos de cada fluido son almacenados en base datos para su posterior consulta. Por otro lado, las características para la simulación de fluidos de elementos con características distintas requieren de cálculos que permiten obtener los nuevos valores. La mezcla se realiza con base a los criterios; masa molar, viscosidad y densidad, siendo estas características las que permiten que la simulación de fluidos se visualice gráficamente de forma distinta. Los cálculos de la masa molar se obtienen a partir de la sumatoria de la masa molar de los elementos a mezclar, la unidad que representa la masa molar es *g/mol*, revisar ecuación (1),

$$M = m_1 + m_2 \quad (1)$$

Donde:

M = masa molar
 m_1 = masa molar del elemento 1
 m_2 = masa molar del elemento 2

Para la densidad se hace uso de los valores, cantidad y densidad de los elementos que se requieren mezclar, tal y como se observa en la ecuación (2), obteniéndose en g/cm^3 .

¹ <https://unity3d.com/es>

$$\rho = \frac{(c_1*d_1)+(c_2*d_2)}{(c_1+c_2)} \quad (2)$$

Donde:

ρ = densidad
 c_1 = cantidad del elemento 1
 d_1 = densidad del elemento 1
 c_2 = cantidad del elemento 2
 d_2 = densidad del elemento 2

La viscosidad se obtiene mediante la cantidad y viscosidad de los elementos que se requieren mezclar, ver ecuación (3).

$$v = \frac{(c_1*v_1)+(c_2*v_2)}{(c_1+c_2)} \quad (3)$$

Donde:

v = viscosidad
 c_1 = cantidad del elemento 1
 v_1 = densidad del elemento 1
 c_2 = cantidad del elemento 2
 v_2 = densidad del elemento 2

Finalmente, la cantidad total se calcula a partir de la cantidad de cada elemento, tal y como se observa en la ecuación (4), la cual, se expresa en mililitros *ml*.

$$c = c_1 + c_2 \quad (4)$$

Donde:

c = Cantidad
 c_1 = Cantidad del elemento 1
 c_2 = Cantidad del elemento 2

La interfaz de usuario del simulador de fluidos permite seleccionar los elementos, en este caso fluidos: los cuales se basan en el tipo, color, y cantidad, (ver Fig. 3). Además, la interfaz permite por un lado, seleccionar un elemento previamente almacenado. Por otro lado, asignar un color e indicar la cantidad para pasar a la elección del contenedor y la generación del marcador.

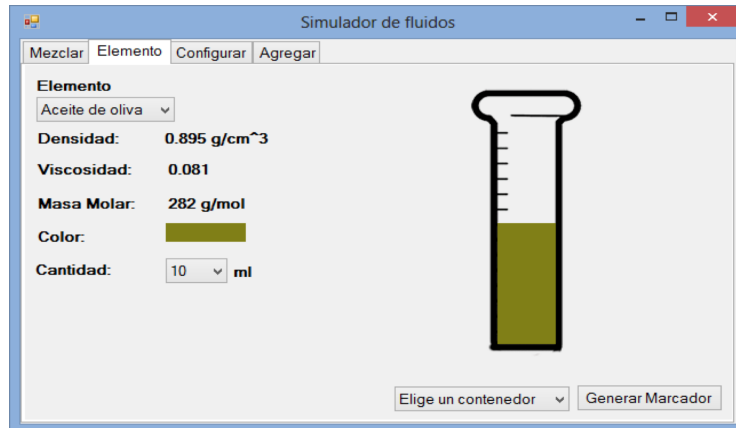


Fig. 3. Interfaz de la aplicación de escritorio.

Una vez configurado cada elemento se procede a la generación del marcador correspondiente, el cual contiene las características específicas de cada elemento, además de una clave única para cada fluido. La Fig. 4, muestra un ejemplo de los marcadores generados.



Fig. 4. Marcador personalizado para los fluidos.

El prototipo de visualización de los elementos previamente generados en el simulador de fluidos se visualiza en la Fig. 5. El proceso para la visualización requiere que la cámara busque y reconozca tanto el marcador como el código de identificación el cual se asociará al elemento 3D.



Fig. 5. Visualización de elementos mediante la aplicación móvil.

5 Conclusiones y trabajo futuro

La implementación de un middleware integra conceptos de simulación básica de fluidos, un modelo de visualización de objetos 3D y una aplicación móvil. Mediante técnicas de RA facilitan el proceso de enseñanza aprendizaje en ciencias como la química. Las pruebas realizadas, ofrecen la posibilidad al usuario de una experiencia sobre RA para manipular herramientas de medición, tales como, probeta graduada, matraz de Erlenmeyer, pipeta, que, en conjunto de sustancias, tales como, el agua, el vinagre, el mercurio, entre otros, generan un aprendizaje a través de la observación en las reacciones generadas en un aspecto visual, kinestésico y auditivo. Asimismo, el middleware ayuda a disminuir la carga de trabajo soportada por el dispositivo móvil, ya que las tareas de configuración de fluidos y creación de marcadores se realiza desde la aplicación de escritorio. Además, la adaptación del patrón arquitectural MVC sobre la estructura de la aplicación móvil y su comunicación con el middleware facilita la construcción del software. Finalmente, el patrón MVC provee de una lógica de tal forma que requiere que las capas de la aplicación se encuentren separadas, lo que permite conseguir una ventaja de extensibilidad y mantenibilidad para el software.

Referencias

1. Ploder, O., Wagner, A., Enislidis, G., & Ewers, R. "Computer-assisted intraoperative visualization of dental implants. Augmented reality in medicine," *Augmented reality in medicine. Der Radiologe*, 35(9), 569-572, (1995).
2. Stapleton, C., Hughes, C., Moshell, M., Micikevicius, P., & Altman, M. "Applying mixed reality to entertainment," *Computer (Long Beach, Calif.)*, vol. 35, no. 12, pp. 122–124, Dec. (2002).
3. Azuma, R. T. "A survey of augmented reality," *Presence Teleoperators virtual Environments*, 6(4), 355-385., (1997).
4. Nee A., S. Ong, and G. Chrystolouris, "Augmented reality applications in design and manufacturing," *CIRP Annals-manufacturing technology*, 61(2), 657-679., (2012).
5. Marescaux, J., Clément, J. M., Tasseti, V., Koehl, C., Cotin, S., Russier, Y., ... & Ayache, N. "Virtual reality applied to hepatic surgery simulation: the next revolution.," *Annals of surgery*, 228(5), 627,(1998).
6. Eckmiller, R. "Electronic Simulation of the Vertebrate Retina," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. BME-22, no. 4, pp. 305–311, Jul. (1975).
7. Echeverria, G., Lassabe, N., Degroote, A., & Lemaignan, S. "Modular open robots simulation engine: MORSE,". *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2011, pp. 46–51, (2011).
8. Qiao, W., McLennan, M., Kennell, R., Ebert, D., & Klimeck, G. "Hub-based Simulation and Graphics Hardware Accelerated Visualization for Nanotechnology Applications," *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.*, vol. 12, no. 5, pp. 1061–1068, Sep. (2006).
9. De, S. K., & Aluru, N. R. "A chemo-electro-mechanical mathematical model for simulation of pH sensitive hydrogels," *Mech. Mater.*, vol. 36, no. 5, pp. 395–410, (2004).
10. Magnusson P. S. et al., "Simics: A full system simulation platform," *Computer (Long Beach, Calif.)*, vol. 35, no. 2, pp. 50–58, (2002).
11. Greenspan H. P., "On fluid-mechanical simulations of cell division and movement," *J. Theor. Biol.*, vol. 70, no. 1, pp. 125–134, Jan. (1978).
12. Caudell T. and Mizell D., "Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes," 1992. *Proc. Twenty-Fifth*, (1992).
13. Basogain, X., Olabe, M., Espinosa, K., Rouèche, C., & Olabe, J. C. "Realidad Aumentada en la Educación: una tecnología emergente," *Realidad Aumentada en la Educación: una tecnología emergente. Escuela Superior de Ingeniería de Bilbao, EHU*. Recuperado de <http://bit.ly/2hpZokY>, ultimo acceso 2018/05/11.
14. Ribo, M., Pinz, A., & Fuhrmann, A. L. "A new optical tracking system for virtual and augmented reality applications," in *IMTC Proceedings of the 18th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference. Rediscovering Measurement in the Age of Informatics (Cat. No.01CH 37188)*, vol. 3, pp. 1932–1936, (2001).
15. M. B.-S. J. on I. "The Human Interface Technology Laboratory New Zealand (HIT Lab NZ)," *Systems and undefined* (2011).
16. Billinghamurst M., Clark A., and Lee G., "A survey of augmented reality," *Foundations and Trends® in Human–Computer Interaction*, 8(2-3), 73-272, (2015).
17. Billinghamurst M. and Kato H., "Collaborative augmented reality," *Commun. ACM*, vol. 45, no. 7, pp. 64–70, Jul. (2002).
18. Olmedo H. and Augusto J., "From augmented reality to mixed reality," In *Proceedings of the 13th International Conference on Interacción Persona-Ordenador* (p. 36). ACM.'12, pp. 1–2, (2012).

- 19 Azuma, R., Bailiot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., & MacIntyre, B. "Recent advances in augmented reality," *IEEE Comput. Graph. Appl.*, vol. 21, no. 6, pp. 34–47, (2001).
- 20 Goldsmith D., Liarokapis F., Malone G. and Kemp J., "Augmented Reality Environmental Monitoring Using Wireless Sensor Networks," in *12th International Conference Information Visualisation*, 2008, pp. 539–544, (2008).
- 21 Chen, J. X., Lobo, N. D. V., Hughes, C. E., & Moshell, J. M. "Real-time fluid simulation in a dynamic virtual environment," *IEEE Comput. Graph. Appl.*, vol. 17, no. 3, pp. 52–61, (1997).
- 22 Li B. and Fleming C. A., "Three-Dimensional Model of Navier-Stokes Equations for Water Waves," *J. Waterw. Port, Coastal, Ocean Eng.*, vol. 127, no. 1, pp. 16–25, Feb. (2001).
- 23 Fay J., "Introduction to fluid mechanics," MIT press (1994).
- 24 Vennard J. K., Street R. L. and Flores J. Barrios, *Elementos de mecánica de fluidos : Versión SI*. Compañía Editorial Continental, (1979).
- 25 Pashley D. H., "Dentin: a dynamic substrate--a review.," *Scanning Microsc.*, vol. 3, no. 1, pp. 161-74–6, Mar. (1989).
- 26 Pietzuch, P. R., & Bacon, J. M. "Hermes: A distributed event-based middleware architecture," In *Distributed Computing Systems Workshops, 2002. Proceedings. 22nd International Conference on* (pp. 611-618). IEEE (2002)
- 27 Hadim, S., & Mohamed, N. "Middleware: Middleware challenges and approaches for wireless sensor networks," *IEEE distributed systems online*, 7(3), 1-1, (2006).
- 28 Bakken D. E. "Middleware, *Encyclopedia of Distributed Computing*," (2002).
- 29 Peña-Cabrera, M., Juárez, I. L., Cabrera, R. R., & Osorio, R. "Un Proceso de Aprendizaje para Reconocimiento de Objetos en Línea en Tareas Robotizadas,". In *3ª Conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernética e Informática*. CISCI, (2004)..
- 30 Pence, H. E., Williams, A. J., & Belford, R. E. "New tools and challenges for chemical education: Mobile learning, augmented reality, and distributed cognition in the dawn of the social and semantic web," *Chemistry education: Best practices, opportunities and trends*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany (2015).
- 31 Lee, K. "Augmented reality in education and training," *Springer TechTrends*, 56(2), 13-21,(2012).
- 32 Morales-Chaparro, R., Linaje, M., Preciado, J. C., & Sánchez-Figueroa, F. "MVC web design patterns and rich internet applications," *Proceedings of the Jornadas de Ingeniería del Software y Bases de Datos*, 39-46, (2007).
- 33 Pressman, R. S., & Troya, J. M "Ingeniería del software," (1988).
- 34 Sommerville, I., & Sawyer, P. Sawyer, *Requirements engineering : a good practice guide*. Wiley, (1999).
- 35 Ferre, X., Juristo, N., Moreno, A., & Sánchez, I. "A Software Architectural View of Usability Patterns." In *2nd Workshop on Software and Usability Cross-Pollination (at INTERACT'03) Zurich, Switzerland*, (2003)
- 36 García, A. S. "Desarrollo de aplicaciones para múltiples plataformas y uso de realidad virtual con Unity 3D," *Tesis Doctoral* (2017).
- 37 César González Mora, "Videojuego con Realidad Virtual," (2017).