

Realidad Aumentada como Herramienta Lúdica para el Estudio de la Anatomía Humana. Caso de Estudio: Los Dientes

Augmented Reality as a Ludic Tool for the Study of the Human Anatomy. Case Study: Teeth

Yessika Liliana Plata Jaimes

Especialista en Tecnologías Avanzadas para el Desarrollo de Software
Universidad Autónoma de Bucaramanga UNAB
yessikaliliana@gmail.com
COLOMBIA

Juan C. García-Ojeda

Programa de Ingeniería de Sistemas
Universitaria de Investigación y Desarrollo UDI
jgarciao@udi.edu.co
COLOMBIA

Freddy Méndez Ortiz

Línea Tecnologías Virtuales
Tecnoparque Servicio Nacional de Aprendizaje SENA
fmendezo@sena.edu.co
COLOMBIA

Resumen— En el presente artículo se describen el desarrollo y la implementación de una aplicación móvil de realidad aumentada (RA) como herramienta de aprendizaje de la anatomía dental humana. La aplicación desarrollada está orientada a ser funcional sobre dispositivos con sistema operativo Android. Se describe el proceso de construcción de la aplicación móvil sobre el entorno de desarrollo Unity3d, utilizando el SDK¹ de Vuforia para realidad aumentada. Adicionalmente, se describe el proceso usado para la construcción de los modelos tridimensionales contenidos en la aplicación que representan las piezas dentales de la cavidad oral humana. Finalmente se presenta el prototipo final con sus funcionalidades.

Palabras Claves— Realidad aumentada, Vuforia SDK, dispositivos móviles, Android, modelamiento 3D

Abstract— This article describes the development and implementation of a mobile application for Augmented Reality (AR), used as learning tool of the human dental anatomy. The application has been developed to run on devices with Android operating system. It is described the development process of the mobile application based on Unity3d environment, using Vuforia SDK for Augmented Reality. In addition, it is described the process of building 3D models displayed in the application, which represent the teeth in the human oral cavity. Finally, it is exposed the final prototype with its features.

Keywords— Augmented reality, Vuforia SDK, mobile device, Android, 3D modelling.

I. INTRODUCCIÓN

El proceso de enseñanza y aprendizaje ha sido desde hace muchos años impartido de forma magistral, en algunas ocasiones poco interactivo donde la narración por parte del

¹ Software Development Kit (SDK), conjunto de herramientas de desarrollo de software.

II. ESTADO DEL ARTE

docente que explica el contenido de un tema específico puede que no siempre permita al estudiante comprender fácilmente el tema que se está abordando; si adicional a lo que se dice, se ilustra gráficamente algún contenido relacionado, para que el usuario pueda verlo en tiempo real, esta comprensión podría mejorar y si además, se habilita interactividad por parte del estudiante con lo que se ilustra la experiencia de aprendizaje puede ser aún mejor.

La Realidad Aumentada (RA) complementa la percepción e interacción con el mundo real permitiendo aumentar la visión del usuario con información adicional generada digitalmente. Como tecnología ha empezado a introducirse en diferentes campos como el diseño de interiores, mercadeo y publicidad, medicina y el ámbito académico no está ajeno a su utilización.

Actualmente los dispositivos móviles disponen de mayor capacidad de almacenamiento y procesamiento; cuentan con pantallas táctiles de alta resolución que habilitan la interactividad e interoperabilidad con el usuario; todo esto hace de los dispositivos móviles plataformas excelentes para la realización de aplicaciones RA que proporcionen la oportunidad de aumentar la experiencia del usuario en ambientes del mundo real.

Estas nuevas tecnologías tienen lugar en todos los escenarios de nuestra sociedad, lo que hace inevitable su utilización en entornos pedagógicos habilitando nuevas formas de aprendizaje. Algunos contenidos educativos son más fáciles de abstraer cuando se visualizan en un espacio en donde el usuario puede interactuar con objetos virtuales en un entorno real y desarrollar un aprendizaje experimentado de una manera más natural, es aquí donde la Realidad Aumentada cobra un papel importante como herramienta de apoyo en la educación innovando los procesos de enseñanza y aprendizaje.

En este artículo se expone el desarrollo de una aplicación móvil de realidad aumentada como herramienta de aprendizaje de la anatomía dental humana aprovechando las capacidades actuales de los dispositivos móviles y la portabilidad que estos ofrecen. Este artículo se encuentra dividido en seis partes. La primera parte es la que se aborda en esta introducción. La segunda parte muestra un breve estado del arte acerca del tema. En la tercera parte se presentan las herramientas de realidad aumentada analizadas para la utilización de una de ellas en el desarrollo de la aplicación móvil. En la cuarta parte se hace una descripción del modelamiento 3D de la dentadura humana. En la quinta parte se expone el proceso de desarrollo de la aplicación para dispositivos móviles Android denominada DentAR y sus funcionalidades. La sexta parte muestra las conclusiones del trabajo expuesto.

Aun cuando la realidad aumentada pareciera ser una tecnología relativamente nueva su origen no lo es. El primer trabajo de investigación que implementó realidad aumentada fue realizado en la década de los 60's por el programador y pionero de Internet Ivan Sutherland [1] sin embargo, el término realidad aumentada fue "acuñado" hasta el año 1992 por Caudell y Mizell [2] para definir una técnica que permitiera al usuario ampliar su campo de visión con mayor información.

La exploración de la técnica de realidad aumentada se ha convertido en un tema de interés en los procesos de investigación en grandes empresas como Daqri [3] y Marxent Labs [4] en Estados Unidos o AR-Books [5] en España, como también para universidades nacionales e internacionales. Un claro ejemplo de este interés se puede citar a través de dos proyectos relacionados con esta temática: El primero, realizado por la empresa AR-Books compañía dedicada a la creación de libros de RA que en conjunto con un docente de la Facultad de Podología y Fisioterapia de la Universidad Católica de Valencia San Vicente Mártir, creó una aplicación de RA para computador que funciona por medio de un libro impreso; en él está contenido los marcadores utilizados por la aplicación para renderizar los objetos 3D que muestran de manera interactiva la anatomía de la pierna y el pie.



Figura 1. AR-Book: Principios Básicos en Anatomía de la Pierna y el Pie

Como segundo ejemplo de la aplicación de RA, en esta ocasión referenciando un trabajo local; se encuentra el proyecto de pregrado realizado por estudiantes de la Universidad Industrial de Santander UIS de una aplicación prototipo para dispositivos móviles que facilita la localización de los principales sitios de interés en un espacio físico específico donde se encuentra ubicada las dependencias de la Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática de la Universidad Industrial de Santander [6].

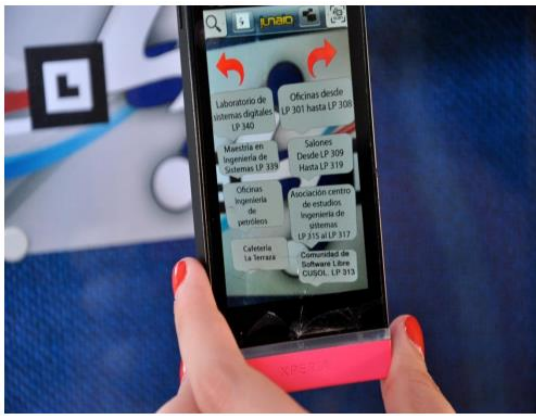


Figura 2. Interfaz gráfica del proyecto: Aplicación del Concepto de Ciudades Inteligentes "Smart Cities", en el Desarrollo de Aplicaciones para Dispositivos Móviles Haciendo Uso de Realidad Aumentada para Localización en Interiores

Como se pudo observar, los anteriores proyectos aplican la realidad aumentada en dos campos diferentes: RA mediante la renderización de objetos tridimensionales y RA basada en geoposicionamiento, e implementada además, en dos plataformas diferentes; para el primer caso en un computador de escritorio y en el segundo sobre un dispositivo móvil.

Teniendo en cuenta las investigaciones presentes y los proyectos desarrollados en el área, se llevó a cabo la construcción de la aplicación móvil DentAR descrita en este artículo, como herramienta que habilite la posibilidad de crear nuevos entornos educativos utilizando realidad aumentada.

III. HERRAMIENTAS DE RA ANALIZADAS

Dentro de la investigación previa realizada de los principales SDK de RA no existen muchos trabajos comparativos que describan las potencialidades diferenciadoras de un framework frente a otro. Si bien en el blog SocialCompare [7] en una de sus publicaciones se lista una serie herramientas existentes en el mercado para desarrollo de RA su comparación se basa en mostrar las plataformas objetivo (Android, iOS, Windows Mobile, etc.), los tipos de reconocimiento que soportan (Marcadores clásicos, Imágenes naturales, geo-posicionamiento, etc.) y el tipo de licenciamiento sobre el cual se basa cada herramienta. Un estudio más objetivo de algunos SDK de RA fue desarrollado bajo el trabajo de investigación "Herramientas de desarrollo libres para aplicaciones de Realidad Aumentada con Android. Análisis comparativo entre ellas" [8] en el cual se compararon dos SDK basados en reconocimiento de marcadores clásicos y dos más con la característica de reconocimiento de imágenes naturales.

Por último, en una búsqueda más reciente de los principales SDK de realidad aumentada cabe citar el Augmented World Expo AWE [9]; evento realizado por

Augmented Reality ORG que busca desde el 2010 reunir a la comunidad en general entorno a la realidad aumentada con el objetivo de aprender más acerca de la tecnología y compartir experiencias. Dentro del evento se organiza entre otros el premio a la mejor herramienta RA para desarrolladores - Best Augmented SDK For Developers categoría que tuvo como finalistas a Artoolkit de ARToolworks Inc Organization [10], Daram SDK de Arpa Solutions [11], Vuforia SDK de Qualcomm Incorporated [12], Metaio SDK de Metaio Organization [13] y Wikitude SDK de Wikitude GmbH Organization [14]; dejando como ganador a Vuforia SDK.

Basado en lo descrito anteriormente y teniendo en cuenta las principales herramientas RA para desarrolladores utilizadas por la comunidad en general se seleccionaron los SDK Wikitude, Metaio, Vuforia y Daram (Arpa), para ser analizadas bajo una serie de pruebas diseñadas.

A. Dinámica de las pruebas

En primer lugar se descargaron los SDK de Vuforia, Metaio, Wikitude y Arpa y los ejemplos básicos que cada uno de ellos tienen, posteriormente estos ejemplos fueron configurados en el entorno de desarrollo Eclipse de acuerdo a los objetivos de las pruebas. Cada proyecto de ejemplo trae consigo una imagen natural por defecto usada como marcador y un objeto estático 3D. Para comparar la eficiencia de los SDK se modificaron los proyectos de ejemplo de manera que renderizaran un objeto 3D específico, único e igual para todos.

B. Pruebas realizadas

Reconocimiento del marcador cuando éste es ocultado parcialmente: En este tipo de prueba el objetivo se basó en encontrar el SDK que presentara una mayor eficiencia en el reconocimiento del marcador cuando este está oculto de manera parcial por algún otro objeto. Para llevar a cabo la prueba se cubrió cada marcador según los siguientes porcentajes: 25%, 50%, 75%, 87.5%, 93.75%.



Figura 3. Ejemplo de ejecución de Vuforia SDK con ocultación del marcador.

Como conclusión, Vuforia tuvo una mejor eficiencia a la hora de reconocer el marcador con un porcentaje alto de ocultación, Metaio por su parte de acuerdo a las pruebas tuvo el

más bajo rendimiento pudiendo solo reconocer el marcador con cubrimientos menores al 50%, también se observó que la ubicación de la oclusión determinaba la detección del marcador lo que hace suponer que no todos los puntos del marcador tienen la suficiente información para el reconocimiento. En los casos de Wikitude y Arpa aun cuando realizaba reconocimiento del marcador con cubrimientos del 50% el objeto renderizado no era estable, su tamaño y ubicación se distorsionaban; este comportamiento puede darse debido a que no hay suficientes datos rastreables capturados para definir la posición del objeto 3D.

Reconocimiento del marcador bajo poca luminosidad del entorno: El propósito de esta prueba fue comparar entre los SDK cual tenía mayor eficiencia en el reconocimiento del marcador cuando existe muy poca luminosidad en el entorno. La prueba se realizó en un cuarto oscuro con la ayuda de una luz Led que fue proyectada en los marcadores para simular poca luminosidad sobre este. La primera prueba se realizó proyectando la luz a una distancia de 30 cm a un costado de cada marcador y una segunda prueba fue realizada proyectando la luz directamente sobre el marcador.

El resultado de esta prueba reflejó como mejor herramienta en la detección del marcador bajo poca luminosidad a Vuforia. Metaio y Wikitude mostraron un comportamiento mínimamente inestable en la detección observándose cierta dificultad para determinar la ubicación correcta del objeto 3D en la renderización aun así el resultado de estos dos SDK para la prueba es aceptable. La herramienta con menor rendimiento fue Arpa, donde no fue posible la detección del marcador bajo las condiciones planteadas



Figura 4. Ejemplo de ejecución de Metaio SDK de la prueba: Reconocimiento del marcador bajo poca luminosidad del entorno

Reconocimiento del marcador según su inclinación: El objetivo de esta prueba fue observar el comportamiento de los SDK en la detección del marcador cuando se varía la inclinación del mismo con respecto al plano en el que se encuentra apoyado el dispositivo. Se tomó una distancia de 30 cm entre el plano inclinado y el dispositivo, esta distancia se tomó de acuerdo a prueba y error en la detección del marcador por cada aplicación cuando este está ubicado de manera paralela al dispositivo (90° con respecto al plano) y se varió el

ángulo de inclinación del marcador de 0° , 15° , 30° , 45° , 60° , 75° a 90° .

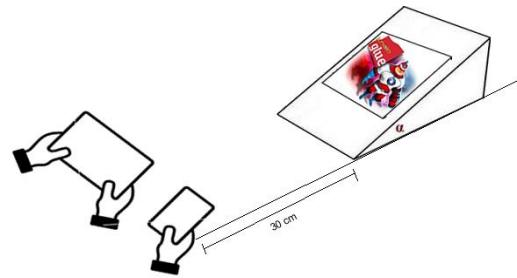


Figura 5. Diseño de la prueba: Reconocimiento del marcador según su inclinación.

En el resultado, nuevamente Vuforia tuvo el mejor rendimiento frente a las demás, por su parte Arpa tuvo un comportamiento poco exitoso bajo los objetivos de la prueba. Para una inclinación de 0° y 15° Vuforia presenta cierta inestabilidad en la detección y el seguimiento. Por su parte Metaio en los ángulos de 15° , 30° y 45° la detección del marcador no es siempre exitosa de hecho en la mayoría de intentos fue fallida, sin embargo, una vez detectado el marcador el tracking en estos ángulos si es óptimo.

En base a las pruebas realizadas el SDK con mayor rendimiento fue Vuforia, como ventaja adicional para Vuforia esta herramienta no cuenta con una marca de agua como si la tienen Metaio, Wikitude y Arpa donde solo la versión paga del mismo permite su eliminación.



Figura 6. Ejemplo de ejecución de Metaio a 30° para la prueba: Reconocimiento del marcador según su inclinación.

IV. MODELAMIENTO 3D DE LA DENTADURA HUMANA

Blender² fue la herramienta escogida para la construcción del modelo 3D de la dentadura dado que es ampliamente utilizada en el ámbito de la producción de contenidos de realidad aumentada.

² Blender. Herramienta para modelamiento 3D.

Debido a la complejidad de los objetos a modelar y a su morfología específica, fue necesaria la utilización de la técnica de modelamiento 3D basados en *model sheets*. Los *model sheets* son utilizados como material de referencia a fin de permitir proporciones adecuadas en el modelado 3D.

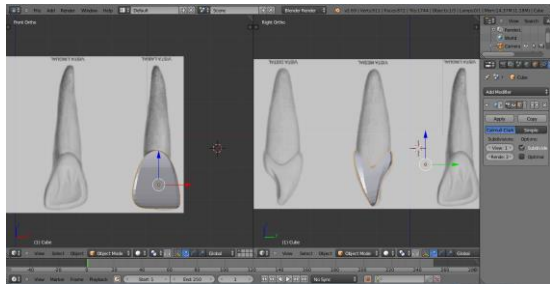


Figura 7. Modelado 3D Blender con models sheet como referencia.

La construcción de las piezas dentales se basó en figuras básicas, en este caso de cubos, que mediante funciones propias de Blender de extrucción, escalado, cortes y rotaciones (conceptos técnicos de modelado) permitieron generar una malla solida compuesta por vértices y polígonos que representa el diente y sus partes: base, cuello y raíz así como de la dentadura completa compuesta por las piezas dentales y las encías.

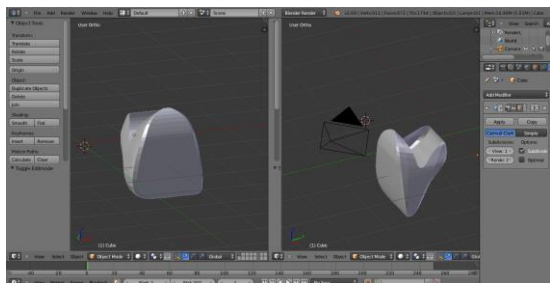


Figura 8. Modelamiento de las piezas dentales en Blender

Una vez generados los objetos 3D se debió aplicar sobre ellos materiales y texturas que ayudaran a simular una superficie colorida haciendo el objeto más real. Un material viene siendo aquello que rodea a un objeto adicionándole ciertas características cuando se visualiza. Para las piezas dentales se aplicó a cada una el mismo material cuya configuración de color, brillo e iluminación permitió simular la textura de un diente real.

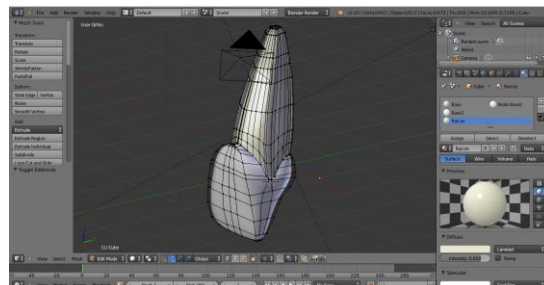


Figura 9. Aplicación de materiales en Blender sobre las piezas dentales modeladas.

En la dentadura completa se realizó un proceso diferente al ejecutado en las piezas dentales que permitiera darle mayor realismo al objeto, por lo que fue necesaria la aplicación de texturas de color en lugar de materiales. Estas texturas de color fueron pintadas a través del mismo Blender mediante utilización y combinación de diversos colores, sombras e iluminación que lograran dar a la dentadura la apariencia deseada.

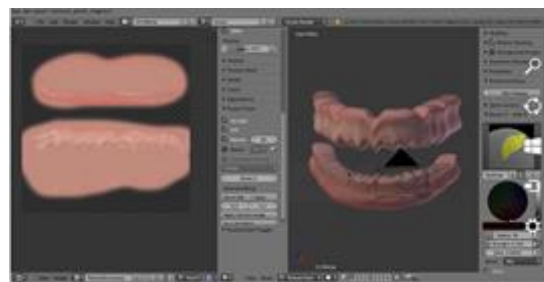


Figura 10. Pintado de texturas de los objetos 3D en Blender

Finalmente, después del proceso que se describió anteriormente se obtuvo el modelo 3D contenido en la aplicación de realidad aumentada DentAR. Su construcción tuvo como objetivo ser lo más real posible dentro del alcance de su modelado de manera que recreara las piezas dentales y la dentadura humana.



Figura 11. Resultado Final dentadura completa modelada en Blender.

V. APLICACIÓN MÓVIL DentAR

A. Construcción de la aplicación

Unity3d es una plataforma de desarrollo flexible con diversas potencialidades que permiten la creación de juegos y experiencias interactivas 3D y 2D multiplataforma. Dado que el objetivo de la aplicación era habilitar precisamente un entorno interactivo entre el usuario y el objeto tridimensional, Unity3d resultó ser una herramienta interesante para la construcción de la aplicación, y de la mano con el SDK de Vuforia, habilitó un entorno de desarrollo RA idóneo para el objetivo de la aplicación. Adicional a esto Unity3d importa nativamente los archivos de Blender por lo que no es necesario exportar los objetos modelados en esta herramienta en algún formato específico para su importación posterior en Unity3d. Por lo descrito anteriormente se decidió utilizar precisamente este entorno para la realización de la aplicación.

Tratándose de una aplicación de Realidad Aumentada basada en marcadores lo primero que se realizó fue la construcción del marcador para la aplicación. Teniendo la imagen que serviría como referencia a ser detectada se procede a crear el marcador a través del Target Management de Vuforia³ disponible de manera gratuita por Vuforia para desarrolladores registrados.



Figura 12. Marcador de la aplicación

El proceso final de construcción de la aplicación se basó esencialmente de los siguientes pasos:

1. Creación de un proyecto Unity
2. Importación del SDK de Vuforia como paquete Unity.
3. Importación de los archivos Blender del objeto 3D modelado (dentadura completa)
4. Creación de una escena dentro del proyecto Unity
5. Construcción de una escena RA basada en la detección de un marcador a través de las funcionalidades de Vuforia SDK
6. Ubicación del modelo 3D dentro de la escena RA
7. Creación de los scripts necesarios para realizar los eventos y funcionalidades de la aplicación.

³ Target Management. Aplicación web de Vuforia que permite la creación de marcadores para RA

8. Generación del apk⁴ para Android.



Figura 13. Construcción de la aplicación en el entorno Unity3d.

B. Funcionamiento de la aplicación

Una vez instalada la aplicación en un dispositivo móvil Android, se ejecuta la misma donde, en primer lugar, se visualizan los botones de las funcionalidades contenidas en ella. Una vez se hace visible a la cámara el marcador, la aplicación renderiza la dentadura como objeto 3D y habilita los botones con las funcionalidades.

Renderizado el modelo 3D el usuario puede interactuar con la dentadura cambiando su tamaño reduciendo/aumentado el mismo hasta un mínimo/máximo permitido por la aplicación, también puede rotarlo de manera horizontal o vertical para visualizar toda la dentadura desde el ángulo deseado por el usuario. Esta interacción se hace a través de contacto touch con la pantalla del dispositivo.

Dentro de las funcionalidades interactivas de la aplicación el usuario podrá: visualizar u ocultar las encías, visualizar u ocultar la arcada superior, visualizar u ocultar la arcada inferior y resetear el modelo 3D a su posición, tamaño y visualización inicial.



Figura 14. Funcionalidades de interactividad en la aplicación. 1) Botón de cerrar aplicación. 2) Botón para visualizar/ocultar encías. 3) Botón para visualizar/ocultar arcada superior 4) Botón para visualizar/ocultar arcada inferior. 5) Botón de resetear modelo a un estado inicial. 6) Funcionalidades de contenido de la aplicación.

⁴ apk. Paquete de instalación para el sistema operativo Android.

Dentro de las funcionalidades de contenido de la aplicación el usuario podrá visualizar la fisiología, morfología y composición de la dentadura humana a través de slides con información referente al tema.



Figura 15. Slide en la aplicación con información fisiológica de la dentadura

C. Pruebas sobre dispositivos reales

El ejecutable de la aplicación móvil (DentAR.apk) fue probado en varios dispositivos de gama media y alta: Samsung Galaxy S3 mini, Samsung Galaxy S5, Samsung Galaxy Note 10.1 Edición 2014. Durante la ejecución de la aplicación en los diferentes dispositivos el modelo 3D de la dentadura humana fue renderizado de manera rápida al ser detectado el marcador correspondiente.

Las funcionalidades interactivas de touch para aumentar/disminuir el tamaño del objeto y rotarlo dentro de la escena capturada también tuvo el comportamiento esperado en los dispositivos, así como la interactividad de las opciones para visualizar la arcada superior, inferior y la dentadura sin encías. En la visualización de la información de contenido dentro de las opciones de la aplicación que fue presentada a manera de slides se ejecutó de forma correcta, permitiendo la navegación a través de ellos.

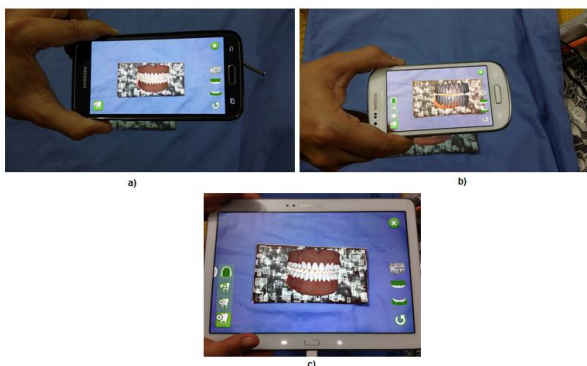


Figura 16. Ejecución de la aplicación en diferentes dispositivos móviles. a) Samsung Galaxy S5, b) Samsung Galaxy S3 mini, c) Samsung Galaxy Note 10.1 Edición 2014

VI. CONCLUSIONES

De la investigación realizada sobre el tema a abordarse en la aplicación de RA que para el caso es la anatomía de la dentadura humana, debido al gran volumen de información relacionada que fue encontrada en las diferentes fuentes bibliográficas consultadas se hizo necesaria la extracción de los aspectos principales que finalmente contiene la aplicación. Sin embargo la información extraída fue revisada y validada por dos profesionales en Odontología y Ortodoncia.

En la investigación de herramientas para desarrollos de realidad aumentada sobre plataformas móviles fueron encontrados diversos SDK's, sin embargo se seleccionó solo aquellos que soportaran Android con la premisa de que fueran además herramientas de libre distribución de manera que no implicaran costos adicionales al desarrollo de la aplicación.

La utilización de Unity3d de la mano con el SDK de Vuforia habilitó un entorno adecuado para la construcción de una aplicación móvil basada en Realidad Aumentada. Aunque la aplicación tiene como plataforma objetivo Android, Unity3d permite la exportación en diferentes plataformas como iOS pero la implementación de la aplicación final sobre otras plataformas se deja como trabajos a futuro.

Buscando la incorporación de las nuevas Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) se han hecho esfuerzos por promover portales educativos en el país compuestos por una serie de herramientas de software que proveen información para permitir la construcción de conocimiento, habilitando nuevos entornos de aprendizaje dirigidos hacia el docente y el estudiante [15,16,17]. Estas plataformas incluyen ambientes multimediales con contenidos digitales donde la realidad aumentada podría hacer presencia. Como trabajo a futuro se propone incluir contenidos de realidad aumentada en portales educativos como medio para complementar las diferentes metodologías de aprendizaje aportando una nueva forma de impartir y adquirir conocimiento.

Por último en el proceso de elaboración de la aplicación y como resultado de lo conversado con las personas expertas en el área fue notorio que el campo de aplicación de la tecnología en el tema odontológico es bastante amplio por lo que surgieron algunas ideas para trabajos posteriores como diseñar una aplicación orientada a niños en el tema de higiene y salud oral, o una orientación más técnica en el área de patologías. Así mismo se plantea la posibilidad de realizar un test que permita evaluar el aprendizaje sobre la información básica plasmada en la aplicación. En conclusión la potencialidad de utilizar técnicas de RA dentro del área odontológica es amplia e inclusive extensiva a otras áreas de la medicina.

REFERENCIAS

- [1] I. Sutherland, A head-mounted three dimensional display, Proceedings of Fall Joint Computer Conference, pp. 757-764, 1968.
- [2] T. P. Caudell y D. W. Mizell, Augmented Reality: An Application of Heads-Up Display Technology to Manual Manufacturing Processes, IEEE Hawaii International Conference on Systems Sciences, pp. 659-669, 1992
- [3] Daqri. (2011) Anatomy 4D [En línea]. Recuperado de: <https://www.vuforia.com/case-studies/anatomy-4d>
- [4] Marxent Labs. (2013) Augmented Reality Medical Education & Live Event Case Study: "Bring In The Brain" [En línea]. Recuperado de: <http://www.marxentlabs.com/case-study/medical-augmented-reality-science-education-case-study-focus-live-events-bring-in-the-brain/>
- [5] J. Ferrer. (2013) Principios Básicos en Anatomía de la Pierna y el Pie. AR-Books Realidad aumentada [En línea]. Recuperado de: <http://www.arbooks.com/interior.php?contenido=libro.php&id=5>
- [6] D. Martínez y S. Hernández, "Aplicación del Concepto de Ciudades Inteligentes "Smart Cities", en el Desarrollo de Aplicaciones para Dispositivos Móviles Haciendo Uso de Realidad Aumentada para Localización en Interiores," Tesis de grado, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia, 2013.
- [7] N. Davis. (2012) Augmented Reality SDK Comparison. Social Compare [En línea]. Recuperado de: <http://socialcompare.com/en/comparison/augmented-reality-sdks>
- [8] A. Serrano, "Herramientas de desarrollo libres para aplicaciones de Realidad Aumentada con Android. Análisis comparativo entre ellas," Tesis de grado, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, 2012.
- [9] AWE. (2014) The Auggie Awards. Augmented World Expo [En línea]. Recuperado de: <http://augmentedworldexpo.com/auggies/>
- [10] ARToolkit. Librería para la construcción de aplicaciones de Realidad Aumentada [En línea]. Recuperado de: <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>
- [11] Arpa SDK. Librería para la construcción de aplicaciones de Realidad Aumentada [En línea]. Recuperado de: http://www.arpa-solutions.net/es/ARPA_SDK
- [12] Vuforia. SDK de Vuforia para Realidad Aumentada [En línea]. Recuperado de: <https://www.vuforia.com/>
- [13] Metaio. SDK de Metaio para Realidad Aumentada [En línea]. Recuperado de: <http://www.metaio.com/products/mobile-sdk/>
- [14] Wikitude The World's leading Augmented Reality SDK [En línea]. Recuperado de: <http://www.wikitude.com>
- [15] G. Barrera Sanabria, D. Arenas Selee, J. C. García Ojeda y F. Méndez Ortiz, Designing Adaptive Educational Web Sites: General Framework. In: Kinshuk, Chee-Kit Looi, Erkki Sutinen, Demetrios G. Sampson, Ignacio Aedo, Lorna Uden, Esko Kähkönen (Eds.), Proceedings of the IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, ICALT 2004, 30 August - 1 September 2004, Joensuu, Finland, pp. 973-977, 2004 IEEE Computer Society.
- [16] G. Barrera Sanabria, D. Arenas Selee, J. C. García Ojeda y F. Méndez Ortiz, Modelling Intelligent Agents for Adaptive Educational Web Sites. In: Knowledge – based Software Engineering, Proceedings of the Sixth Joint Conference on Knowledge-based Software Engineering. Stefanuk, V. and Kaijiri, K. (Eds.) IOS Press, 2004.
- [17] C.M. Zea, M.delR. Atuesta Venegas, M.A. González, J.I. Montoya y I. Urrego, Conexiones: ambientes de aprendizaje colaborativos, una respuesta a los nuevos retos en educación. Revista Universidad EAFIT, 36(118), pp. 47-57, 2000.