

**DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN MÓVIL DE REALIDAD AUMENTADA
COMO HERRAMIENTA DE APRENDIZAJE DE LA ANATOMÍA DENTAL
HUMANA**

Presentado por:

YESSIKA LILIANA PLATA JAIMES

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA UNAB

FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

BUCARAMANGA

2015

**DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN MÓVIL DE REALIDAD AUMENTADA
COMO HERRAMIENTA DE APRENDIZAJE DE LA ANATOMÍA DENTAL
HUMANA**

Presentado Por:

YESSIKA LILIANA PLATA JAIMES

Dirigido por:

MSc. JUAN CARLOS GARCÍA OJEDA

Trabajo de grado para optar por el título de:

Magister en gestión, aplicación y desarrollo de software

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA UNAB

FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

BUCARAMANGA

2015

“Dedico este trabajo a Dios por ser mi fortaleza y mi guía.

A mis padres Nelson Plata y Marlene Jaimes que con su amor, dedicación y apoyo han hecho de mi lo que soy ahora.

A mi hermana Silvia Plata, por ser mi motivación cada día.

A Harley Herrera por su compañía en mi afán de alcanzar una nueva meta.”

Yessika.

Contenido

INTRODUCCIÓN	1
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	3
2 OBJETIVOS.....	5
2.1 Objetivo General.....	5
2.2 Objetivos Específicos.....	5
2.3 Alcance	6
3 MARCO TEÓRICO	7
3.1 Android	7
3.2 Realidad Aumentada	9
3.2.1 Tipos de Realidad Aumentada	11
3.2.2 Tipos de dispositivos RA móvil.....	16
3.2.3 Herramientas de Realidad Aumentada	18
3.3 Anatomía dental humana.....	25
3.3.1 Composición	26
3.3.2 Morfología	29
3.3.3 Fisiología	34
3.3.4 Grupos de dientes	36
3.3.5 Clasificación y Registro: Nomenclatura de los Dientes	38
4 ESTADO DEL ARTE - Realidad aumentada sobre dispositivos móviles...	41
4.1 Evolución de la realidad aumentada	41

4.2	Campos de aplicación.....	51
4.2.1	Realidad aumentada en mercadeo y publicidad	51
4.2.2	Realidad aumentada en diseño de interiores	52
4.2.3	Realidad aumentada en la educación	53
4.2.4	Realidad aumentada en la salud	54
4.3	Aplicaciones de RA en la salud	54
4.3.1	ARCASS: Real-time advanced spinal surgery via visible patient model and augmented reality system	55
4.3.2	AR-Book: Principios Básicos en Anatomía de la Pierna y el Pie ...	55
4.3.3	Augmented Reality: The Brain	56
4.3.4	Anatomy 4D	57
4.3.5	X-Scope: Application of an augmented reality tool for maxillary positioning in orthognathic surgery – A feasibility study.....	58
4.3.6	An Augmented Reality Based Teeth Shade Matching System.....	59
4.3.7	Haptic Augmented Reality Dental Trainer with Automatic Performance Assessment.....	60
4.3.8	ARDental.....	61
4.3.9	Digital 3D Prosthesis.....	62
4.4	Realidad aumentada en el entorno cercano	62

4.4.1	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.....	63
4.4.2	Diseño y Desarrollo de un Módulo de Apoyo a la Enseñanza de la Química Básica en la Media Vocacional por Medio de la Realidad Aumentada (RA).....	64
4.4.3	Desarrollo de una Aplicación Móvil Basada en la Realidad Aumentada para la Ubicación Geo localizada de Lugares de Interés al Interior de la Universidad Industrial de Santander.....	65
5	METODOLOGÍA Y RECURSOS	66
5.1	Actividades	66
5.2	Recursos.....	68
5.2.1	Recurso Hardware	68
5.2.2	Recurso Software.....	70
6	HERRAMIENTAS ANALIZADAS.....	71
6.1	Introducción	71
6.2	Herramientas SDK analizadas.....	72
6.2.1	Vuforia SDK	73
6.2.2	Metaio SDK.....	75
6.2.3	Wikitude SDK.....	77
6.2.4	ARPA SDK.....	78

6.3	Diseño de las pruebas realizadas.....	79
6.3.1	Dinámica de las pruebas.....	80
6.3.2	Pruebas realizadas.....	83
6.3.3	Conclusiones generales.....	89
7	MODELADO DE OBJETOS VIRTUALES 3D	90
7.1	Herramienta de modelamiento 3D.....	90
7.2	Proceso de modelamiento: piezas dentales y dentadura.....	91
7.2.1	Modelos 3D.....	91
7.2.2	Materiales y Texturas.....	93
8	CONSTRUCCIÓN DE LA APLICACIÓN MÓVIL – DentAR.....	97
8.1	Diseño de la aplicación.....	97
8.1.1	Alcance y funcionalidades de la aplicación.....	97
8.2	Construcción de la aplicación.....	99
8.3	Funcionamiento de la aplicación.....	101
9	PRUEBAS.....	108
10	CONCLUSIONES.....	110
	BIBLIOGRAFÍA.....	112

Lista de Figuras

Figura 1. Cuota del mercado de Android a nivel mundial (StatCounter Global)..	7
Figura 2. Cuota del mercado de Android en Colombia (StatCounter Global)	8
Figura 3. Distribución de versiones de Android. (Developers Android, 2014).....	8
Figura 4. Continuo de la Virtualidad (Milgram, 1994, p. 1322)	10
Figura 5. Etapas en el funcionamiento de un sistema de RA. (Basada en Ciorallo 2011, p. 15). En b) se ha girado el punto de vista que se tenía en a, lo que hace que el objeto virtual gire en relación al nuevo punto de vista.....	11
Figura 6. Tipos de Realidad Aumentada.....	12
Figura 7. Ejemplo de Marcador para RA.....	12
Figura 8. Flujo de sistema RA basado en marcadores (Wagner, 2007, p. 140)	13
Figura 9. RA basada en posicionamiento (Wikitude)	14
Figura 10. Ejemplo de RA con dispositivos HDM (Wagner, 2010, párr. 20)	17
Figura 11. Ejemplo de RA en una tableta.	17
Figura 12. Ejemplo de RA en un smarthphone	18
Figura 13. Vuforia SDK para RA	20
Figura 14. Metaio SDK para RA.....	21
Figura 15. Layar SDK para RA	21
Figura 16. Wikitude SDK para RA.....	22
Figura 17. Navegador de RA	22
Figura 18. Blender - Herramienta para modelado 3D	24
Figura 19. Unity3D - Herramienta de modelamiento 3D	25
Figura 20. Diente in situ (A.D.A.M. Images).....	30

Figura 21. Morfología dentaria - cuerpo geométrico (Esponda, 1994, p.40).....	31
Figura 22. Representación esquemática de las caras (Esponda, 1994, p. 41).	31
Figura 23. Diferentes formas de raíces, a) Unirradicular, diente anterior. b) Multirradicular, molar inferior, con dos raíces, c) Molar superior con tres raíces (Esponda, 1994, p. 60)	33
Figura 24. Las raíces también tienen similitud con un cuerpo geométrico, la pirámide o el cono, cuya base está en el cuello (Esponda, 1994, p. 60)	34
Figura 25. Silueta de los dientes de la dentadura de adulto, que identifican los subgrupos con que se designan los dientes, según su posición en el arco (Esponda, 1994, p. 29)	37
Figura 26. Nomenclatura A.D.A (Adaptada de Esponda, 1994, p. 31).....	40
Figura 27. Nomenclatura FDI (Adaptada de Esponda, 1994, p. 31)	40
Figura 28. A head-mount display (Sutherland, 1968, p. 1323).....	42
Figura 29. Marcador de matriz 2D (Rekimoto, 1998, p. 63)	43
Figura 30. Ejemplo de RA con dispositivos HDM (Wagner, 2010, párr. 20)	45
Figura 31. Juego de Ajedrez - RA multiusuario (Reitmayr, Schmalstieg, 2001, p. 121).....	46
Figura 32. Avatares compiten en el estadio de la antigua Olimpia (Vlahakis et. al, 2001, p. 137)	47
Figura 33. Usuario guiado por navegación basado en marcadores (Kalkusch, 2002, p. 1).....	48
Figura 34. The invisible train (Pintaric, 2014).....	49
Figura 35. Visitantes con sistema de guía en la estación 2 Visitantes con sistema de guía. (Miyashita et. al, 2008, p. 106)	50

Figura 36. Logo de Realidad Aumentada.	50
Figura 37. Project Glass 1.	51
Figura 38. Realidad Aumentada LEGO DIGITAL BOX Kiosk – Metaio case studies.	52
Figura 39. RA en diseño de interiores.....	53
Figura 40. AR-Book: Principios Básicos en Anatomía de la Pierna y el Pie (Ferrer, 2013).....	53
Figura 41. ARCASS para cirugía de columna (Wu et. al, 2014, p. 878)	54
Figura 42. Aplicación de ARCASS en cirugía de columna (Wu et. al, 2014, p. 876).....	55
Figura 43. AR-Book: Principios Básicos en Anatomía de la Pierna y el Pie (Ferrer, 2013).....	56
Figura 44. Augmented Reality: The Brain (Perfect Prototype, 2012)	57
Figura 45. Anatomy 4D (Daqri, 2011)	58
Figura 46. Vista del cirujano del maxilar virtual. (Mischkowski et. al, 2006, p. 479).....	59
Figura 47. Resultados Obtenidos del sistema R.A (Qiao, Wang, Weng, Qi, 2011).....	59
Figura 48. Entorno de AR con retroalimentación cinemática. (Rhienmora et. al, 2010, p.).....	60
Figura 49. ARDental (Alexandrescu, 2013, p. 34).....	61
Figura 50. Protheses (Virtuallis Augmented Reality)	62
Figura 51. 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 (Martínez, Hernández, 2013, p. 59).	63
Figura 52. Interfaz gráfica del proyecto: Diseño y Desarrollo de un Módulo de Apoyo a la Enseñanza de la Química Básica en la Media Vocacional por Medio de la Realidad Aumentada (RA) (Figueroa, Angarita, 2013 p. 111).....	64
Figura 53. Interfaz gráfica del proyecto: Desarrollo de una Aplicación Móvil Basada en la Realidad Aumentada para la Ubicación Geo localizada de Lugares de Interés al Interior de la Universidad Industrial de Santander (Díaz, Pérez, 2013, p. 99).....	65
Figura 54. Arquitectura Vuforia SDK (Qualcomm Vuforia - Developers Portal, 2014).....	74
Figura 55. Arquitectura Metaio SDK (Metaio Developer Portal, 2014).....	77
Figura 56. Imágenes naturales como marcador de los SDK. a) Marcador metaio, b) Marcador vuforia, c) Marcador arpa, d) Marcador Wikitude.....	81
Figura 57. Exportación desde Blender para Vuforia.	82
Figura 58. Exportación .wt3 desde Wikitude 3D Encoder	83
Figura 59. Ejemplo de ejecución de a) Vuforia, b) Metaio, c) Wikitude, d) Arpa con oclusión del marcador.	85
Figura 60. Ejemplo de ejecución de a) Metaio y b) Wikitude de la prueba: Reconocimiento del marcador bajo poca luminosidad del entorno	86
Figura 61. Diseño de la prueba: Reconocimiento del marcador según su inclinación	87
Figura 62. Ejemplo de ejecución de a)Vuforia a 0o y b)Metaio a 30° para la prueba: Reconocimiento del marcador según su inclinación	89

Figura 63. Model sheet incisivo lateral superior derecho permanente (SAM, p. 26).....	91
Figura 64. Modelado 3D Blender con models sheet como referencia.....	92
Figura 65. Modelamiento de piezas dentales en Blender.	93
Figura 66. Modelamiento de la dentadura humana en Blender.	93
Figura 67. Aplicación de materiales en Blender sobre las piezas dentales modeladas.	94
Figura 68. Resultado final de las piezas dentales modeladas en Blender a) Pieza de grupo incisivo, b) Pieza de grupo canino, c) Pieza de grupo premolar y d) Pieza de grupo molar.....	94
Figura 69. Pintado de texturas de los objetos 3D en Blender	95
Figura 70. Resultado Final dentadura completa modelada en Blender.	96
Figura 71. Marcador de la aplicación	100
Figura 72. Construcción de la aplicación en entorno Unity3d.	101
Figura 73. Aplicación instalada en aplicativo móvil	101
Figura 74. Inicio de la aplicación en un dispositivo móvil.	102
Figura 75. Renderización del modelo 3D en la aplicación.	102
Figura 76. Rotación del modelo 3D en la aplicación.	103
Figura 77. Aumentación del modelo 3D en la aplicación.	103
Figura 78. Funcionalidades de interactividad en la aplicación	104
Figura 79. Renderización del modelo 3D en la aplicación sin encías.	104
Figura 80. Renderización de la arcada superior del modelo en la aplicación ..	105
Figura 81. Renderización de la arcada inferior del modelo en la aplicación ...	105
Figura 82. Funcionalidades de contenido en la aplicación.....	106

Figura 83. Slide en la aplicación con información fisiológica de la dentadura.	106
Figura 84. Slide en la aplicación con información morfológica de la dentadura	107
Figura 85. Odontograma 3D renderizado en la aplicación.....	107
Figura 86. 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	109

Lista de Tablas

Tabla 1. Cuadro comparativo de herramientas para RA Android (Davis, 2012)	19
Tabla 2. Composición química de los tejidos duros en el diente.....	26
Tabla 3. Composición orgánica de la ceniza	27
Tabla 4. Características recurso: Equipo de desarrollo	69
Tabla 5. Características recurso: Equipos móviles	69
Tabla 6. Resultados prueba: reconocimiento del marcador cuando está oculto parcialmente.	84
Tabla 7. Resultado prueba: Reconocimiento del marcador bajo poca luminosidad del entorno	86
Tabla 8. Resultado de la prueba: Reconocimiento del marcador según su inclinación	88
Tabla 9. Resultado de pruebas reales sobre dispositivos móviles.....	108
Tabla 10. Características de dispositivos móviles utilizados para pruebas.....	109

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de este proyecto nace del interés propio de abordar una tecnología que actualmente ha cobrado fuerza en diferentes escenarios: la Realidad Aumentada; con el propósito de generar una herramienta de apoyo en el aprendizaje básico de la dentadura humana, sus partes y funcionamiento,

El proyecto presentado en este libro es uno de los primeros trabajos que aborda la tecnología de Realidad Aumentada dentro de la Universidad por lo que además de cumplir con sus objetivos busca también, desarrollar iniciativas en la utilización de esta tecnología en la educación para que su divulgación contribuya a generar nuevos entornos de aprendizaje y proyectarla hacia diversos campos de aplicación.

El capítulo 1 aborda la descripción del problema, presentando también la justificación del proyecto en la cual se describe las ventajas de utilizar Realidad Aumentada en los procesos de aprendizaje. El capítulo 2 expone el objetivo general y los objetivos específicos que se quieren lograr con la realización del proyecto. El capítulo 3 presenta el marco teórico sobre el cual se sustenta el proyecto, refiere tanto temas técnicos de conceptos de Realidad Aumentada, como temas de contenido con información acerca de la dentadura humana, su funcionamiento y morfología. En capítulo 4 presenta la revisión realizada sobre el estado pasado y actual acerca de la temática de estudio para recopilar la información relevante al problema de investigación.

El capítulo 5 presenta las actividades efectuadas para el cumplimiento de los objetivos específicos del proyecto y los recursos que fueron necesarios para la elaboración del mismo. En el capítulo 6 se muestra el análisis realizado sobre las principales herramientas para el desarrollo de aplicaciones de RA lo cual permitió seleccionar la herramienta adecuada para la construcción de la aplicación final. El capítulo 7 presenta el proceso realizado para el modelamiento 3D de los objetos virtuales que se encargan de “aumentar” el entorno real acerca del estudio básico de la anatomía de la dentadura humana dentro de la aplicación. El capítulo 8 expone el proceso de construcción de la aplicación final y presenta una breve descripción de su funcionamiento.

Finalmente se exponen las pruebas realizadas sobre los dispositivos móviles para verificar el funcionamiento de la aplicación y se presentan las conclusiones finales acerca del proceso de desarrollo del proyecto y los trabajos a futuro que pueden realizarse como continuación del mismo.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

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 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.

Este proyecto plantea entonces desarrollar 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 habilitando la posibilidad de crear nuevos entornos educativos más atractivos al estudiante.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Desarrollar una aplicación de Realidad Aumentada (RA) para dispositivos móviles Android que sirva como herramienta educativa para el apoyo en el aprendizaje de la anatomía dental humana.

2.2 Objetivos Específicos

- Investigar el estado del arte de aplicaciones de RA relacionadas con la medicina.
- Estudiar las características de la anatomía dental humana: nombres, composición, función y ubicación.
- Investigar y seleccionar las herramientas SDK para el desarrollo de aplicaciones de realidad aumentada y software para el modelamiento de objetos en 3D.
- Realizar el diseño gráfico 3D de la morfología de la dentadura y sus partes.
- Desarrollar una aplicación de realidad aumentada para el aprendizaje de la anatomía dental humana.
- Realización de pruebas a la aplicación en diferentes dispositivos móviles para validar su funcionamiento.

2.3 Alcance

Debido a la complejidad de la dentadura objeto de estudio para realizar el proyecto; es necesario delimitar el alcance de éste dentro de la aplicación. El objetivo es desarrollar una aplicación orientada a dispositivos móviles que permita la interacción de los usuarios con un modelo 3D de la dentadura humana y sus piezas dentales en su composición externa. Además, de permitir interactuar también con contenido informativo del objeto aumentado, en donde se presentará información textual e imágenes que describa el funcionamiento del aparato dentario, la anatomía y morfología de las piezas dentales.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 Android

El proyecto tiene como objetivo la creación de una aplicación de Realidad Aumentada sobre plataformas Android. Android es un sistema operativo inicialmente pensado para teléfonos móviles, hoy en día está disponible también para relojes y tablets. Lo que lo hace diferente frente a otros como iOS o Windows Mobile es que está basado en Linux, un núcleo de sistema operativo libre, gratuito y multiplataforma. La razón por la cual se decidió enfocar el proyecto hacia Android es esta “libertad” que ofrece el sistema operativo lo que lo hace popular entre desarrolladores, ya que los costos para desarrollar y lanzar una aplicación son muy bajos. Por otra parte, Android tiene fuerte presencia en Colombia y en el mundo liderando el mercado con una amplia diferencia frente a la competencia.

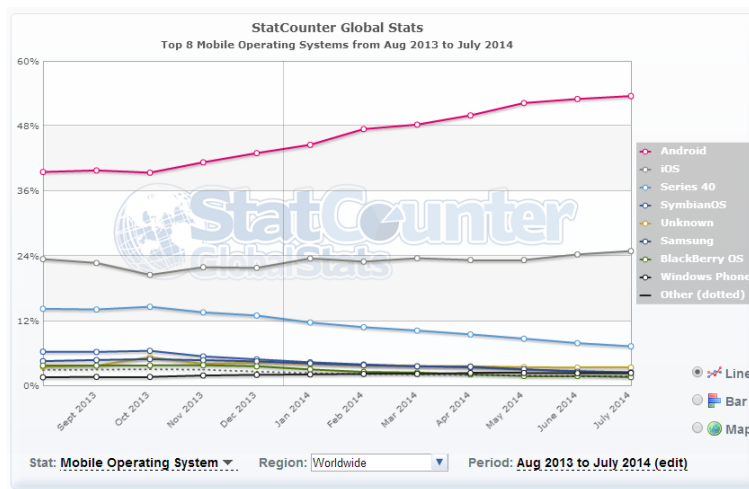


Figura 1. Cuota del mercado de Android a nivel mundial (StatCounter Global)

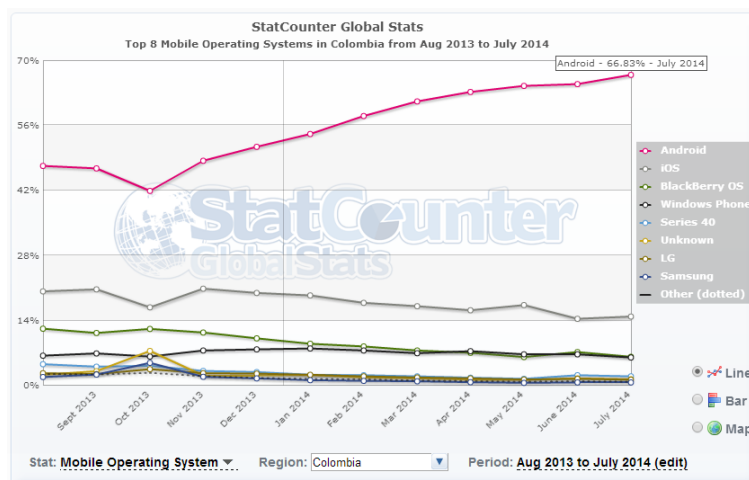


Figura 2. Cuota del mercado de Android en Colombia (StatCounter Global)

Millones de dispositivos móviles en el mundo tiene como sistema operativo Android pero no todos han sido actualizados a las últimas versiones liberadas, por esta razón se evaluó hacia que versión estaría orientado el proyecto en base a la distribución de sus versiones en los dispositivos Android a nivel mundial; actualmente la versión ampliamente dominante en el mercado es Jelly Bean por lo que será la versión objetivo en la que se enfocará el desarrollo del proyecto.

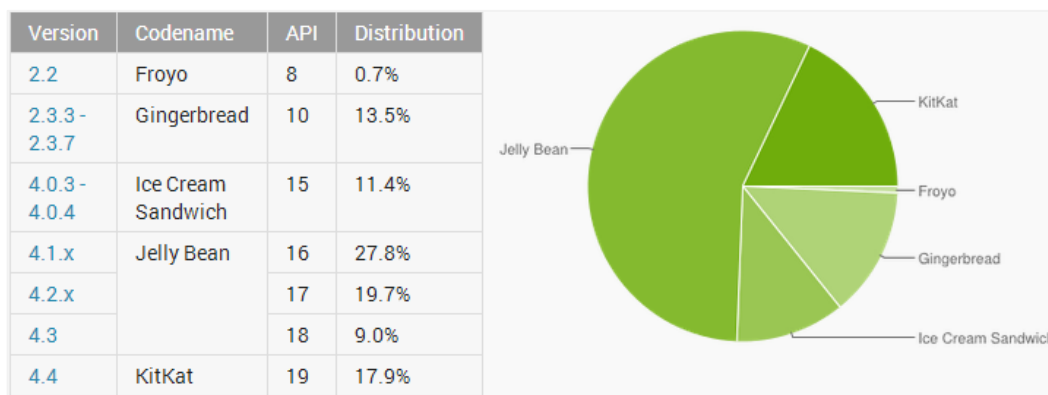


Figura 3. Distribución de versiones de Android. (Developers Android, 2014)

3.2 Realidad Aumentada

La Realidad Aumentada (RA) es una tecnología que permite mezclar entornos reales y virtuales a través de contenido digital como objetos 3D, audio, imágenes o video de manera que permita aumentar la información de aquellos elementos captados por el usuario de manera natural en su ambiente.

La aplicación práctica más utilizada de la Realidad Aumentada es la superposición y seguimiento de objetos virtuales 3D sobre la imagen real capturada por una cámara.

Definición

No existe una única definición para Realidad Aumentada, sin embargo algunos autores han realizado definiciones para RA en sus publicaciones. Milgram (94) define la RA sobre la base de un continuo llamado Continuo de Milgram: Un mundo virtual está construido a partir de elementos digitales en el que los usuarios están totalmente inmersos y alejados de la percepción de su mundo real. El entorno real es el lado contrario de manera que solo está integrado por los objetos reales limitado por las leyes de la física. La Realidad Mixta a lo largo del continuo de Milgram representa la combinación del entorno real y virtual al mismo tiempo, dentro de ella se puede encontrar la Realidad Aumentada.

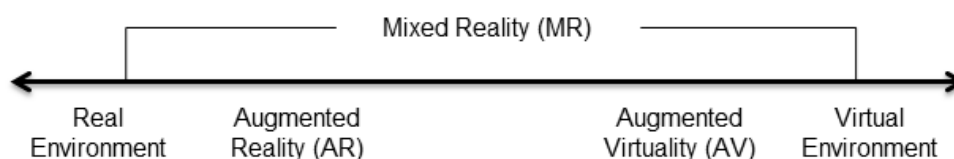


Figura 4. Continuo de la Virtualidad (Milgram, 1994, p. 1322)

En un estudio realizado sobre Realidad Aumentada, Ronald Azuma (97) identifica tres características principales de la Realidad Aumentada: Combina lo real y lo virtual, es interactiva en tiempo real, opera y es usada en un entorno 3D. Las anteriores características representan lo que para Azuma es RA.

Etapas en el proceso de Realidad Aumentada

El proceso que todo sistema de RA cumple se podría dividir en dos fases principales (Ciorallo, 2011): la fase de reconocimiento y seguimiento y la fase de renderizado, durante ambas fases existen básicamente cuatro tareas principales para realizar el aumento de la realidad: Captura del entorno, Reconocimiento y Tracking, Aumento de la realidad y Visualización.

Siguiendo la Figura 5 todo sistema RA en primer lugar, capturar la escena real a través de un dispositivo de visualización como una cámara o un dispositivo Head-Mount Display (HMD); en segunda instancia se identifica el objeto real a ser aumentado; posteriormente, se pasa a la etapa de renderizado del objeto

virtual y finalmente a la etapa de visualización, dónde se superponen los objetos reales y virtuales.

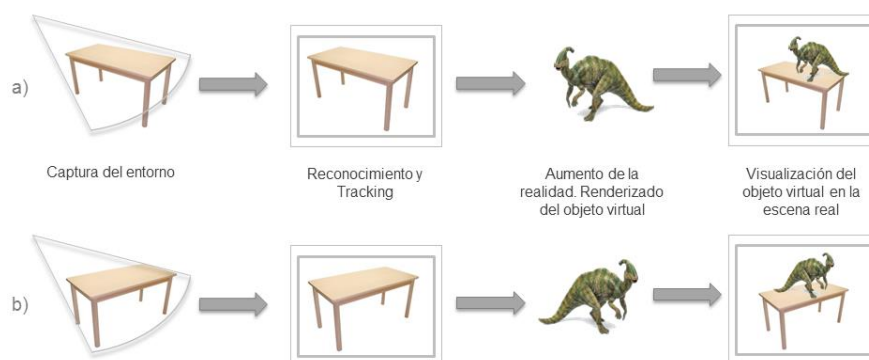


Figura 5. Etapas en el funcionamiento de un sistema de RA. (Basada en Ciorallo 2011, p. 15). En b) se ha girado el punto de vista que se tenía en a, lo que hace que el objeto virtual gire en relación al nuevo punto de vista.

3.2.1 Tipos de Realidad Aumentada

El primer proceso que realiza un sistema RA es capturar una escena en un ambiente natural para identificar el objeto físico real que el usuario requiere aumentar virtualmente. Este proceso puede realizarse mediante la utilización de marcadores, mediante un sistema de posicionamiento o la carencia de ambos mediante reconocimiento a partir de características específicas de un objeto en el entorno real, este último tipo de reconocimiento se conoce como Markerless.

Marcador clásico	Marcador natural	Geolocalización	Markerless
			
<p>Compuesto de imágenes simples a blanco y negro. En algunas aplicaciones RA se hace uso de códigos QR.</p>	<p>Imagen o fotografía a color. Generalmente representa el objeto virtual a ser presentado</p>	<p>El objetivo de la geolocalización es utilizar el posicionamiento GPS para activar el contenido de realidad aumentada.</p>	<p>Realidad aumentada sin marcadores mediante el reconocimiento de objetos reales tridimensionales.</p>

Figura 6. Tipos de Realidad Aumentada.

3.2.1.1 Realidad Aumentada basada en marcadores o imágenes

Este tipo de Realidad Aumentada utiliza marcadores o imágenes generalmente impresas en papel, en los que se superpone algún tipo de información virtual como imágenes, objetos 3D o vídeo cuando son reconocidos por la aplicación RA. El reconocimiento de un marcador puede darse por su geometría, su color o por la combinación de ambas características.

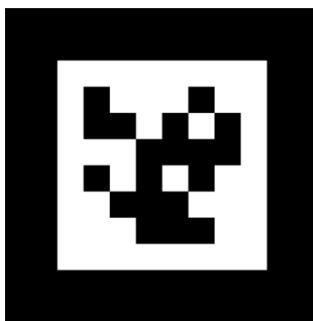


Figura 7. Ejemplo de Marcador para RA

El procedimiento general de un sistema basado en marcadores es en primer lugar imprimir el marcador correspondiente, seguido a esto el usuario debe situar el marcador frente a la cámara del dispositivo que realizará la captura del mismo; una vez la aplicación reconoce el marcador y lo asocia a la información virtual esta se visualiza en pantalla generalmente sobre el marcador.

En aplicaciones de Realidad aumentada basadas en marcadores la generación de la información virtual se logra a partir de separar este del resto de la imagen capturada, calcular la matriz de traslación para el objeto virtual basada en el contorno del marcador y aplicar esta matriz para renderizar el objeto sobre la imagen capturada del mundo real desde la cámara (Wagner, 2007).

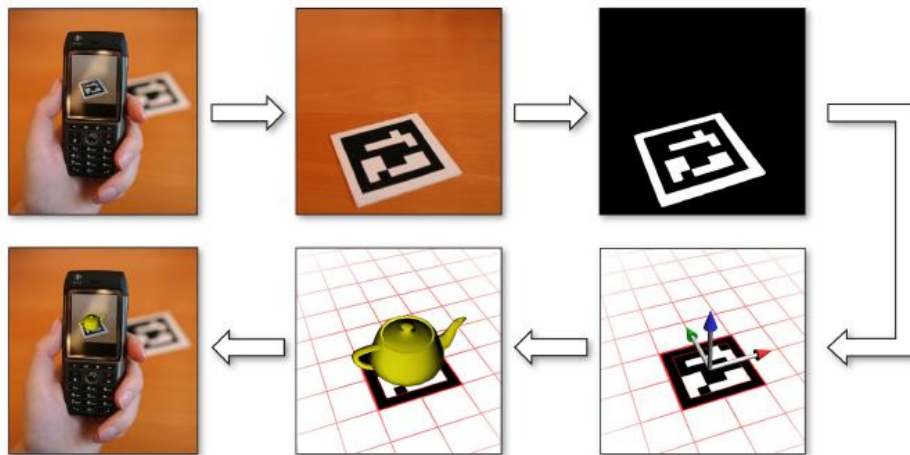


Figura 8. Flujo de sistema RA basado en marcadores (Wagner, 2007, p. 140)

3.2.1.2 Realidad Aumentada basada en posicionamiento

Las aplicaciones RA basadas en posicionamiento son también llamadas navegadores de Realidad Aumentada. Estas aplicaciones utilizan el hardware de los dispositivos para localizar y superponer información sobre puntos de interés (POIs) de un ambiente real. Cuando el usuario capta desde su dispositivo la imagen de su entorno, el navegador, a partir de un mapa de datos, muestra los POIs cercanos. El hardware en los dispositivos que permite este tipo de aplicaciones es: el GPS, la brújula digital y el acelerómetro.

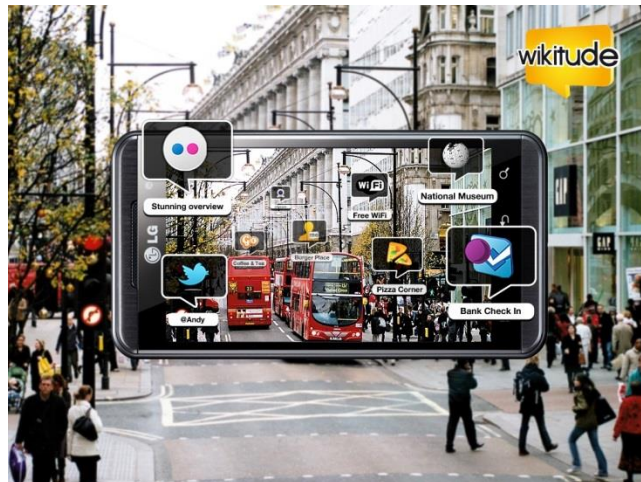


Figura 9. RA basada en posicionamiento (Wikitude)

- Global Positioning System (GPS): Permite conocer la posición a través de las coordenadas GPS.

- Brújula digital: Sensor se permite conocer hacia qué dirección se está observando. Utilizado ubicar sólo aquellos puntos que estén aproximadamente sobre la misma dirección.
- Acelerómetro: una vez conocidas la posición y dirección, es recomendable conocer la orientación de la cámara (punto de vista del observador). Esto se realiza en base al funcionamiento de este sensor, que nos proporciona unos valores en X, Y, Z, que convenientemente tratados, permitirán conocer cuál es la orientación de la cámara con respecto a un plano vertical (el suelo se considera horizontal).

3.2.1.3 Realidad Aumentada en dispositivos móviles

Las primeras aplicaciones de RA como resultados de trabajos obtenidos en estudios de investigación, estuvieron orientadas y diseñadas para ejecutarse sobre computadores de mesa con cámaras fijas o dispositivos de visualización Head-Mount Display (HMD). Aunque estos componentes brindaban un alto rendimiento su aplicación real no era muy viable; los aparatos utilizados eran enormes y costos lo que hacía a las aplicaciones poco atractivas socialmente y limitadas a un amplio número de usuarios no técnicos. Al mismo tiempo, los múltiples campos de acción en los que podía ser aplicada esta técnica empezaban a demandar cierta portabilidad y desplazamiento para su utilización,

lo que en ocasiones resultaba ser imposible o incómodo para el usuario. Como respuesta a esta necesidad surgen los sistemas RA móviles.

Actualmente los dispositivos móviles disponen de mayor capacidad de almacenamiento y procesamiento; poseen además diferentes dispositivos periféricos incorporados, puertos de comunicación con otros dispositivos, pantallas táctiles de alta resolución que habilitan la interactividad, y cuentan además con servicios de redes de telefonía celular que permiten establecer enlaces de comunicación. 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 entornos del mundo real.

3.2.2 Tipos de dispositivos RA móvil

En este apartado se listan los principales tipos de dispositivos utilizados para realizar realidad aumentada móvil.

3.2.2.1 Dispositivos HMD (Head-Mount display)

Dispositivo de visualización similar a un casco, que permite reproducir imágenes creadas por ordenador sobre una pantalla muy cercana a los ojos o directamente sobre la retina del ojo. La utilización de estos dispositivos en aplicaciones RA tiene restricciones de peso, tamaño y costo.

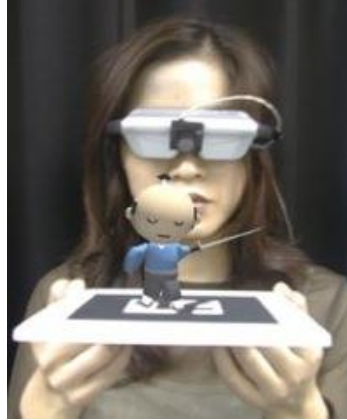


Figura 10. Ejemplo de RA con dispositivos HDM (Wagner, 2010, párr. 20)

3.2.2.2 Tablets

Dispositivo portátil de mayor tamaño que un teléfono inteligente, integrado en una pantalla táctil que permite la interacción entre el usuario y el sistema mediante la utilización de los dedos o un estilete sin necesidad de teclado físico ni ratón. Estos dispositivos eliminan los problemas ergonómicos que presentaban los HDM.



Figura 11. Ejemplo de RA en una tableta.
(Vuforia by Qualcomm and Sesame Workshop Prototype Playset, 2012)

3.2.2.3 Smarthphones

Teléfono móvil, con una mayor capacidad de almacenar datos y realizar actividades semejantes a una minicomputadora, con una mayor conectividad que un teléfono móvil convencional. Actualmente los teléfonos inteligentes son los dispositivos más usados para ejecutar aplicaciones RA, aun teniendo en cuenta las limitaciones que presentan, estos dispositivos cuentan cada vez con mayores y mejores prestaciones.



Figura 12. Ejemplo de RA en un smarthphone

3.2.3 Herramientas de Realidad Aumentada

En esta sección se presenta un breve resumen de las herramientas de desarrollo de RA comúnmente utilizadas para desarrollo sobre Android. En la Tabla 1 se presentan las principales herramientas y sus características que pueden ser empleadas en la construcción de aplicaciones RA sobre Android.

Tabla 1. Cuadro comparativo de herramientas para RA Android (Davis, 2012)

	Type	Android	Natural Feature	GPS	IMU Sensors	Marker	Visual Search	Face Tracking	Unity (3D)
ARPA	Free + Commercial SDK option	✓	✓	✓				✓	✓
BeyondAR	Open Source	✓		✓					
Catchoom	Free + Commercial SDK option	✓	✓				✓		✓
AndAR	Open Source	✓				✓			
DroidAR	Open Source	✓		✓	✓	✓			
Vuforia	Free + Commercial SDK option	✓	✓			✓			✓
NyARToolkit	Open Source	✓				✓			✓
Obvious Engine	Commercial SDK only	✓	✓						✓
Studierstube Tracker		✓	✓			✓			
SSTT	Other	✓	✓			✓			
ALVAR	Free + Commercial SDK option	✓	✓			✓			
AR23D	Free + Commercial SDK option	✓				✓			
ARLab	Free + Commercial SDK option	✓		✓	✓	✓	✓	✓	
ARMES	Commercial SDK only		✓			✓			
ARToolkit	Free + Commercial SDK option	✓	✓			✓			
Aurasma	Free + Commercial SDK option	✓	✓				✓		
xpose visual search	Commercial SDK only	✓					✓		
Cortexia		✓					✓		
Google Goggles		✓					✓		
IN2AR	Free + Commercial SDK option	✓	✓						✓
ARmedia	Free + Commercial SDK option	✓	✓	✓	✓	✓			
Qoncept AR	Other	✓	✓		✓	✓			
layar	Free + Commercial SDK option	✓	✓	✓	✓		✓		
LibreGeoSocial	Open Source	✓		✓	✓				
Metaio SDK	Free + Commercial SDK option	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
mixare	Open Source	✓		✓					
popcode	Commercial SDK only	✓	✓						
Robocortex	Free + Commercial SDK option	✓	✓			✓			
snaptell		✓					✓		
D'Fusion	Free + Commercial SDK option	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Wikitude	Free + Commercial SDK option	✓	✓	✓	✓	✓			
yvision	Free + Commercial SDK option	✓				✓			
Zenitum Feature Tracker	Commercial SDK only	✓	✓	✓		✓			
Xludia	Commercial SDK only	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
Awila	Free + Commercial SDK option	✓		✓					
Koozyt	Commercial SDK only	✓				✓			

3.2.3.1 Vuforia

Vuforia es una plataforma desarrollada por el departamento de I+D de la compañía Qualcomm que permite la creación de aplicaciones de Realidad Aumentada para plataformas Android e iOS, ofrece un amplio conjunto de características y capacidades extendidas que permite el desarrollo de aplicaciones más allá de las limitaciones técnicas. Una de las principales características de esta herramienta es que se basa en el reconocimiento de marcas naturales y objetos 3D, y permite su extensión con Unity3D habilitando la creación de escenas virtuales animadas.



Figura 13. Vuforia SDK para RA

3.2.3.2 Metaio

Metaio Mobile SDK es una plataforma para el desarrollo de aplicaciones RA para plataformas Android e iOS creada por la empresa Metaio en Alemania. Incluye un potente motor de renderizado en 3D, además de un plug-in que habilita la integración con Unity3D. Metaio SDK permite el reconocimiento y seguimiento Markerless 2D y 3D.



Figura 14. Metaio SDK para RA

3.2.3.3 Layar

Layar es un navegador de RA basada en el geo-posicionamiento. El API de Layar provee una arquitectura software para el desarrollo de aplicaciones de RA sin la utilización de marcadores ya que utiliza el hardware de los dispositivos móviles como el GPS, la brújula y el acelerómetro para obtener la posición del usuario y generar la información virtual relacionada con su ubicación.

Esta herramienta es altamente utilizada en aplicaciones RA orientadas al turismo pudiendo visualizar a través de su navegador las localizaciones más cercanas a la posición del usuario tales como museos, restaurantes, etc.



Figura 15. Layar SDK para RA

3.2.3.4 Wikitude

Wikitude es una herramienta similar a Layar que permite proveer información relevante al entorno del usuario basada en el geo-posicionamiento. Wikitude fue la primera aplicación disponible para el público que utiliza RA basado en la ubicación.



Figura 16. Wikitude SDK para RA

3.2.3.5 Junaio

Junaio es un navegador de realidad aumentada diseñado para dispositivos móviles; desarrollado por la compañía Metaio. Proporciona una API para que los desarrolladores y proveedores de contenido generen experiencias de realidad aumentada móvil para usuarios finales. Actualmente, está disponible para plataforma iPhone y Android.



Figura 17. Navegador de RA

3.2.3.6 ARToolkit

ARToolkit – AugmentedRealityToolkit es una de las librerías más usadas para desarrollar aplicaciones de RA. Para ello, usa capacidades de “video tracking” para calcular, en tiempo real, la posición y orientación real de la cámara relativa a un marcador físico. Esta librería está basada en marcadores clásicos, actualmente sigue siendo muy utilizada en investigaciones sin embargo con la aparición de nuevas herramientas más avanzadas su uso es cada vez menor.

3.2.3.7 Nyartoolkit

NyARToolKit es una librería de clases derivada de ARtoolKit, Su primera versión fue publicada en 2008, y escrita íntegramente en Java. No provee el acceso a la captura de vídeo, únicamente se encarga de analizar y extraer la posición y orientación de la cámara respecto a los marcadores y está optimizada para ser usada en dispositivos móviles dispone de soporte para diferentes formatos 3D mediante el uso de la librería min3D.

3.2.3.8 AndAR

AndAR es una biblioteca de código abierto, que se encuentra aún en desarrollo. Es para desarrolladores y para propósitos comerciales. Un gran inconveniente representa el hecho de que utiliza el viejo tipo de marcadores ya que está

basada en ARToolKit. Fue realizada bajo el marco un proyecto de carrera de la universidad Dualen Hochschule en Alemania (Domhan, 2010)

3.2.3.9 Blender

Blender es un software empleado en el modelamiento, la animación y la creación de gráficos tridimensionales. Es una herramienta multiplataforma compatible con todas las versiones de Windows, Mac OS X, Linux, Solaris, FreeBSD e IRIX. Puede ser utilizado para diferentes tareas a la hora de modelar como aplicar texturas, crear animaciones, simulaciones, edición no lineal, composición, y aplicaciones 3D interactivas. Tiene una interfaz gráfica de usuario diferente, quizás poco intuitiva, pues no se basa en el sistema clásico de ventanas; pero tiene a su vez ventajas importantes sobre éstas, como la configuración personalizada de la distribución de los menús y vistas de cámara.



Figura 18. Blender - Herramienta para modelado 3D

3.2.3.10 Unity3D

Herramienta que permite desarrollar videojuegos para diversas plataformas mediante un editor y scripting. Existe una versión gratuita de la herramienta accesible al público en diferentes versiones y una versión paga más completa.

Unity 3D provee de un editor visual en el cual se pueden realizar modelos 3D, texturas, sonidos, etc. o incluirlos de fuentes externas. Incluye además, la herramienta de desarrollo MonoDevelop que habilita la creación de scripts en JavaScript, C# y un dialecto de Python llamado Boo.



Figura 19. Unity3D - Herramienta de modelamiento 3D

3.3 Anatomía dental humana

Los dientes son piezas duras y resistentes que están insertadas en los maxilares superior e inferior cuya función es la masticación de alimentos; encargados de cortar, desgarrar y triturar los alimentos los dientes cumplen una función importante previa a la digestión.

A lo largo de la vida del ser humano se forman dos dentaduras: una dentadura temporal compuesta por 20 dientes de leche que al cabo de unos años se caen para dar lugar a otra dentadura definitiva compuesta por 32 dientes permanentes que nunca más se reemplazan naturalmente.

Para el estudio de la anatomía dental humana como objetivo académico en el que se centra este trabajo se recopiló los aspectos más relevantes del libro *Anatomía Dental* (Esponda, 1994) y el libro *Anatomía Odontológica funcional y aplicada* (Figún, Gariño, 2009) como base teórica para el desarrollo del proyecto.

3.3.1 Composición

Desde el punto de vista anatómico, el diente se halla integrado por cuatro tejidos: Esmalte, dentina, cemento y pulpa dentaria. Los tres primeros son más duros que el tejido óseo, la pulpa dentaria es un tejido blando caracterizado por poseer una rica vascularización e inervación. La composición química de los tejidos duros es descrita en la Tabla 2. En cuanto a la composición de la ceniza, es tal que en 100g de la misma se encuentra descrita en la Tabla 3.

Tabla 2. Composición química de los tejidos duros en el diente

Composición			
	Esmalte	Dentina (%)	Cemento
Agua	2,3	13,5	32,0
M. orgánica	1,7	17,5	22,0
Cenizas	96,0	69,0	46,0

Tabla 3. Composición orgánica de la ceniza

Composición			
	Esmalte	Dentina (%)	Cemento
Calcio	36,1	35,3	35,5
Fósforo	17,3	17,1	17,1
Oxido de Carbono	3,0	4,0	4,4
Magnesio	0,5	1,2	0,9
Sodio	0,2	0,2	1,1
Potasio	0,3	0,03	0,1
Flúor	0,016	0,017	0,015
Azufre	0,1	0,2	0,6
Cobre	0,01	No hay	No hay
Cinc	0,016	0,018	No hay
Sílice	0,003	No hay	0,04

3.3.1.1 Esmalte

Tejido que debido a su translucidez permite percibir el color de la dentina, por lo cual aparece la tonalidad blanco-amarillento. Ocasionalmente puede presentar coloraciones oscuras (dientes veteados). Su superficie es lisa, brillante. A veces se ven una formación con aspecto de rodetes, denominadas periquematias que no son más que la exteriorización de los anillos del esmalte.

Espesor: Máximo en los bordes incisales y cúspides (2mm en los incisivos, 2,4 mm en los caninos y 3 mm en premolares y molares). Intermedio en los tercios centrales de las caras laterales y en los surcos oclusales, donde a veces puede desaparecer originando fisuras.

Propiedades: Su extrema dureza, registrada con el número 5 en la escala de Mohs, es la mayor que se observa en la estructura humana y deriva de su

composición química, dado que la proporción orgánica se estima solo en un 1.7%; ello explica su extraordinaria fragilidad.

3.3.1.2 Dentina

Por dentro del esmalte en la corona y del cemento en la raíz se encuentra el tejido más voluminoso del diente, la dentina.

Espesor: Bastante uniforme, no es constante como el del esmalte, sino que aumenta con la edad por actividad normal o patológica del órgano pulpar. Oscila desde 1.5 mm (vestibular y proximal de incisivos) hasta 4.5 mm (incisal del canino superior y cúspide palatina de molares).

Propiedades: Su color blanco amarillento puede modificarse por una zona de color gris, que corresponde a la transparencia de la dentina secundaria.

3.3.1.3 Cemento

Se halla en la porción radicular recubriendo la dentina. Cuando el diente tiene más de una raíz, el cemento se dispone aisladamente en cada una de ellas, uniéndose a nivel del espacio interradicular.

Espesor: Los mayores espesores se localizan en los sitios donde ha de producirse más fuerte presión, es decir, en los ápices. El espesor mínimo se

halla en el cuello, y el intermedio a nivel de los tercios medios de las raíces y en los espacios interradiculares. Se estima su espesor promedio entre 80 y 120 micrones.

Propiedades: Es el menos duro de los tejidos calcificados del diente. Ello, y su peculiar estructura, determinan que sea un tejido poco frágil.

3.3.1.4 Pulpa dentaria

Ocupa la cavidad pulpar, delimitada casi totalmente por dentina. La pulpa cumple fundamentalmente la función de calificar el tejido dentario, función que persiste durante toda la vida del diente. Posee en razón de su gran inervación, una sensibilidad exquisita.

3.3.2 Morfología

A pesar de que todos los dientes son morfológicamente diferentes, guardan entre sí algunas características constantes. Para su estudio se divide a la unidad anatómica diente en tres partes: corona, cuello y raíz (Figura 20). Hasta hoy no se había considerado al cuello como parte integral del diente, pero en los conceptos de la odontología moderna no puede pasarse por alto sin tomar en cuenta este pormenor tan importante.

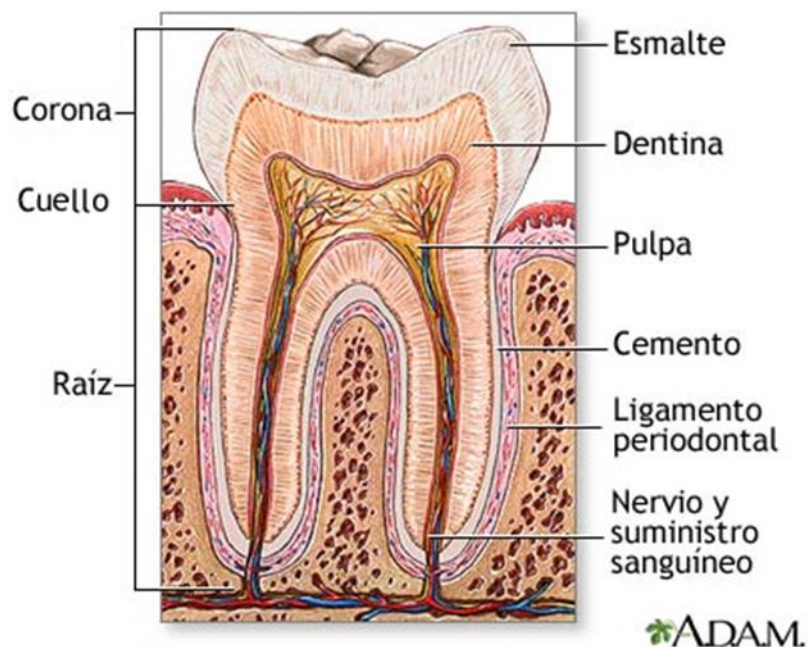


Figura 20. Diente in situ (A.D.A.M. Images)

3.3.2.1 Corona

La corona es la porción del diente que está visible fuera de la encía y trabaja directamente en el momento de la masticación; se le llama corono clínica o funcional. Si se considera el diente como unidad anatómica, la corona es la parte del diente cubierta por esmalte y en este caso se llama corona anatómica.

La corona se compara con un cubo o poliedro de seis caras o superficies; a cada una de estas caras se le estudian cuatro lados, perfiles o ángulos lineales que la circunscriben como un cuerpo geométrico.

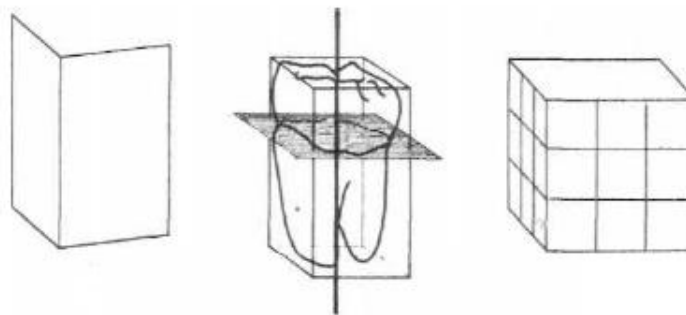


Figura 21. Morfología dentaria - cuerpo geométrico (Esponda, 1994, p.40)

Para la localización y nomenclatura de cada diente y sus distintas caras o superficies se toma como principal referencia al plano medio. Las caras del cubo, cuerpo geométrico con el que se comparó la corona, son seis; de éstas, cuatro son paralelas al eje, por lo tanto se denominan axiales. Las dos restantes son perpendiculares al eje, una es cara oclusal o masticatoria y la otra es plano cervical que une la corona a la raíz en el cuello (Figura 22).

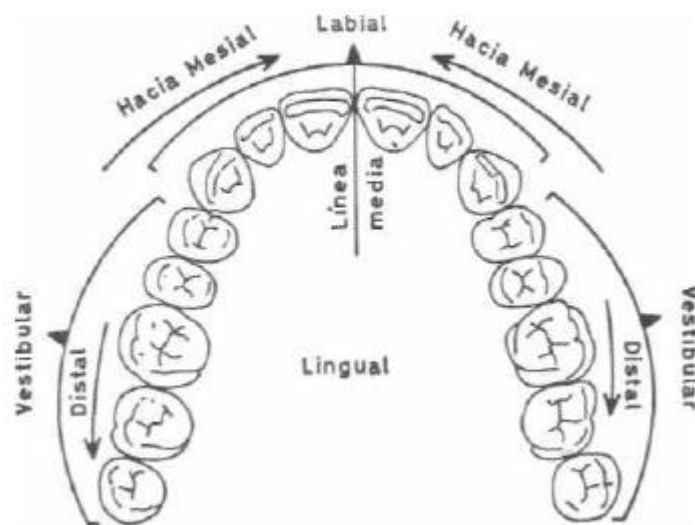


Figura 22. Representación esquemática de las caras (Esponda, 1994, p. 41)

Se considera mesial a la porción media o próxima a la línea media. La parte distal es la que está colocada distante de la mesial. Toda porción comprendida por dentro del arco se llama lingual. A la porción localizada fuera del arco es vestibular y, de ésta, la parte anterior es labial.

3.3.2.2 Cuello

El cuello de un diente es el contorno que marca la unión entre la corona y la raíz. Puede ser considerado desde el punto de vista anatómico o clínico, como se hizo con la corona. Es el lugar por donde imaginariamente se hizo pasar el plano cervical o sexta cara del cubo (Figura 21). El cuello anatómico está señalado por la línea de demarcación del esmalte. El cuello clínico es el punto crítico de sustentación del diente.

3.3.2.3 Raíz

La raíz del diente es la parte que le sirve de soporte. Se encuentra firmemente colocada dentro de la cavidad alveolar, en el espesor de la apófisis alveolar de los huesos maxilares y mandibulares. La raíz está constituida por dentina y cubierta por cemento en el cual se insertan las fibras colágenas del ligamento parodontal que la sostiene y fija al alvéolo. La fijeza del diente está en relación directa con el tamaño de la raíz, a la que contribuyen favorablemente una vecindad adecuada y un antagonismo funcional.

El lugar de la división de una raíz en dos ramas o cuerpos de raíz se llama bifurcación, y trifurcación a la división de aquella en tres (Figura 23).

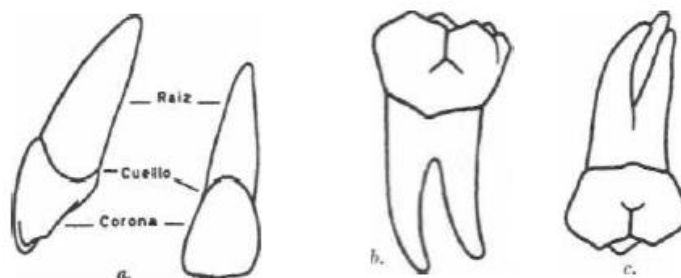


Figura 23. Diferentes formas de raíces, a) Unirradicular, diente anterior. b) Multirradicular, molar inferior, con dos raíces, c) Molar superior con tres raíces (Esponda, 1994, p. 60)

El nombre de las raíces está en relación con la posición que guardan respecto a los planos sagital y transversal del organismo. Así, de la raíz bífida o bifurcada que tienen los molares inferiores, una rama es mesial y la otra distal, y de las tres ramas o cuerpos de raíz de los molares superiores, dos son vestibulares y una es palatina (se considera así, porque su mayor relación es con el paladar), y de las dos vestibulares, una es mesial y otra distal. Así como al estudiar sus características, la corona fue comparada con una forma cuboide, con la raíz puede hacerse otro tanto; su figura alargada tiene similitud con otro cuerpo geométrico, que puede ser un cono o una pirámide cuadrangular, con la base dirigida hacia el cuello (Figura 24).

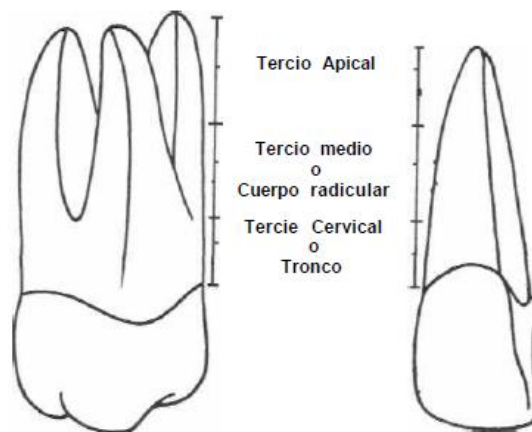


Figura 24. Las raíces también tienen similitud con un cuerpo geométrico, la pirámide o el cono, cuya base está en el cuello (Esponda, 1994, p. 60)

3.3.3 Fisiología

Las funciones que cumplen los dientes por sí mismos o integrando entidades más amplias como el sistema dentario y el aparato masticador son cuatro: masticatoria, fonética, estética y de preservación.

3.3.3.1 Función masticatoria

La acción de masticación está destinada a producir la segmentación de las partículas alimenticias, para lo cual debe vencer la resistencia que éstas oponen. En el proceso intervienen dos factores fundamentales: las fuerzas representadas por los músculos de la masticación y los dientes, que las transmiten al alimento.

3.3.3.2 Función fonética

De los tres elementos que componen el aparato de la fonación: fuelle respiratorio, aparato glótico y aparato resonador, la boca integra este último junto con las fosas nasales y la faringe. Las piezas dentarias participan en dos formas en la fonación. En conjunto lo hacen como parte integrante de la cavidad bucal que, a manera de caja de resonancia, se modifica para producir los diversos sonidos. En forma individual, los dientes intervienen como elementos pasivos en relación con la lengua o labios, que participan activamente en la articulación del sonido.

3.3.3.3 Función estética

No la cumplen los dientes solo por lo agradable que resulta su presencia. En efecto, hacen algo más que constituir el motivo decorativo de una bella sonrisa: integran junto con los maxilares la armazón donde se apoyan las partes blandas, y son por tanto, responsables de la posición que adopta la musculatura facial. En gran parte participan, por ello, de la determinación de rasgos que configuran el carácter y la personalidad del individuo. Además, mantienen el equilibrio de las proporciones de la boca, rigiendo la fisionomía y conservación de las dimensiones de la parte inferior de la cara en relación con los restantes segmentos de la cabeza.

3.3.3.4 Función de preservación

Además de sus clásicas funciones masticatorias, fonética y estética, el diente merced a su forma cumple la función de asegurar su posición en el arco

tratando de evitar posibles desplazamientos y como consecuencia de ello, mantienen la integridad de los tejidos paradentarios. Cuando ocurren cambios posicionales, algunos elementos del diente se tornan inactivos, su acción pierde eficacia, se alteran o destruyen los elementos de sostén y el proceso suele terminar con la pérdida de la pieza. Por lo tanto, la eficiencia masticatoria, la correcta articulación del sonido y la belleza facial con sus múltiples y complejas derivaciones, dependen de una dentadura completa y sana.

3.3.4 Grupos de dientes

Los dientes son unidades pares, de igual forma y tamaño, que, colocados en idéntica posición a ambos lados de la línea media, derecho e izquierdo, adaptan su morfología a estas circunstancias y forman dos grupos, según su situación correspondiente en la arcada y estos son: dientes anteriores y dientes posteriores.

3.3.4.1 Dientes anteriores

Se consideran dos subgrupos: Incisivos y Caninos (Figura 25 a y b).

Incisivos: tienen forma adecuada para cortar o incidir, esto los semeja entre sí. Juegan un importante papel en la fonética y en la estética, lo cual alcanza la cifra de 90%.

Caninos: son dientes fuertes y poderosos que pueden servir para romper y desgarrar, aunque su función estética y fonética es también muy importante, tiene en este sentido un 80%.

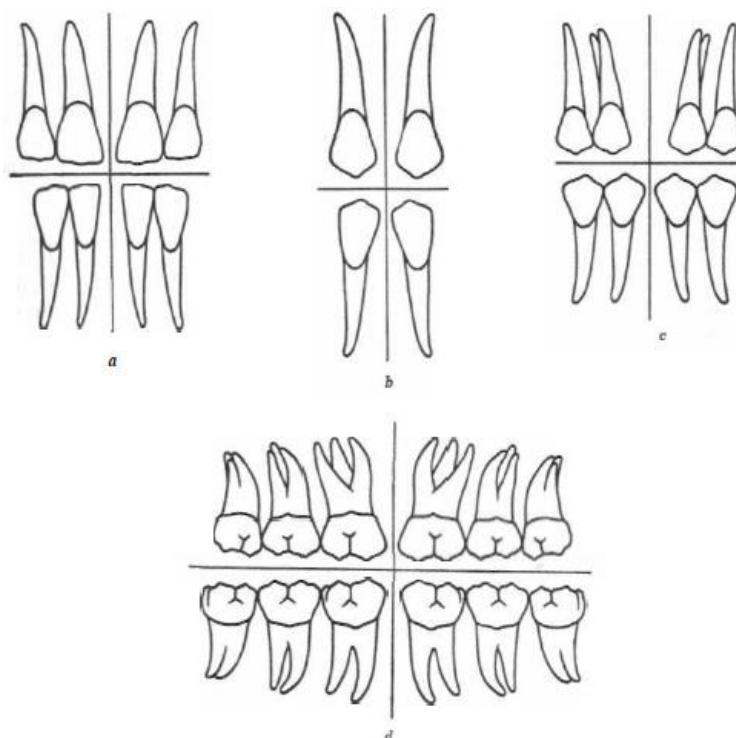


Figura 25. Silueta de los dientes de la dentadura de adulto, que identifican los subgrupos con que se designan los dientes, según su posición en el arco (Esponda, 1994, p. 29)

3.3.4.2 Dientes posteriores

Se subdividen a su vez en premolares y molares. Esto sucede únicamente en la segunda dentición, en la primera no hay premolares (Figura 25 c y d). La principal función de estos dientes es triturar los alimentos; tienen la corona de forma cuboide, su volumen y diámetro son mayores, más gruesos en sus contornos y, además, poseen eminencias en forma de tubérculos y cúspides en

la cara masticatoria, que se intercalan con los antagonistas de la arcada opuesta al efectuarse la oclusión o cierre de las arcadas.

3.3.5 Clasificación y Registro: Nomenclatura de los Dientes

El grupo incisivos está formado por ocho dientes, en total, cuatro superiores y cuatro inferiores, dos en cada cuadrante o media arcada, un central y un lateral. Igual sucede en el lado derecho que en el lado izquierdo, en la arcada superior como en la inferior (Figura. 25 a).

El grupo de caninos, grupo formado por un diente en cada cuadrante. Uno superior y otro inferior, uno del lado derecho y otro del izquierdo: en total, cuatro dientes, tanto en la dentadura infantil como en la de adulto (Figura. 25 b).

El grupo de premolares está formado por ocho dientes en total, dos en cada cuadrante que son: el primer premolar y el segundo premolar, en el lado derecho como en el izquierdo, en la arcada superior como en la inferior. Estos dientes sólo existen en la dentadura de adulto (Figura. 25 c).

El grupo de molares en la dentadura de adulto está formado por doce dientes que corresponden tres a cada cuadrante, tanto del lado derecho como del izquierdo, en la arcada superior como en la inferior, y se llaman primer molar, segundo molar y tercer molar (Figura. 25 d).

3.3.5.1 Nomenclatura

Las nomenclaturas dentales en odontología son utilizadas para ahorrar tiempo a la hora de referirse a un diente concretamente. Se utilizan diferentes sistemas como una forma simple y efectiva de nombrar la dentición, tanto temporal como permanente. Las nomenclaturas más conocidas son: FDI (Figura 27) y A.D.A (American Dental Association, Figura 26).

Para identificar un diente se utiliza una frase compleja con el siguiente orden: nombre, ubicación y tipo, así:

El primer diente después de la línea media: incisivo central

El segundo diente después de la línea media: incisivo lateral

El tercer diente después de la línea media: canino

El cuarto diente después de la línea media: primer premolar

El quinto diente después de la línea media: segundo premolar

El sexto diente después de la línea media: primer molar

El séptimo diente después de la línea media: segundo molar

El octavo diente después de la línea media: tercer molar

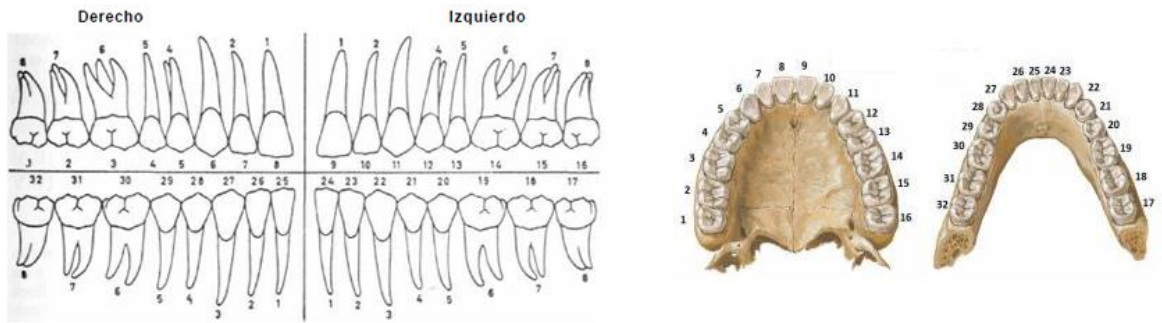


Figura 26. Nomenclatura A.D.A (Adaptada de Esponda, 1994, p. 31)

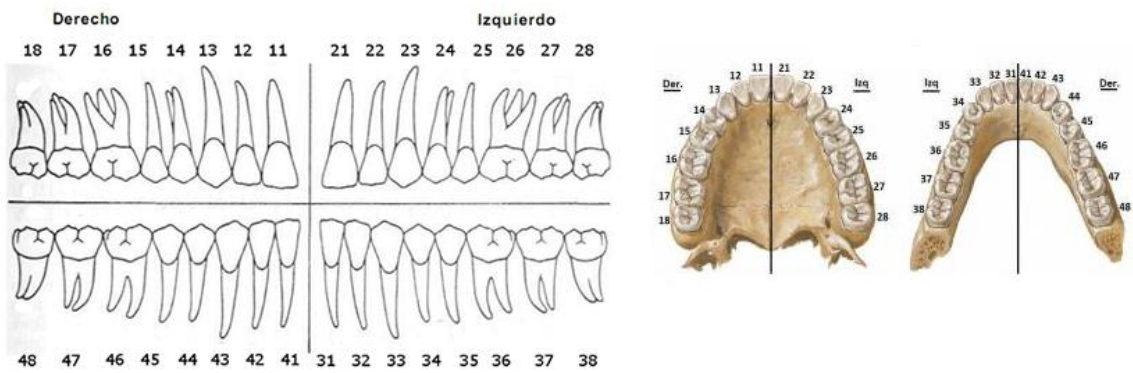


Figura 27. Nomenclatura FDI (Adaptada de Esponda, 1994, p. 31)

4 ESTADO DEL ARTE - Realidad aumentada sobre dispositivos móviles

4.1 Evolución de la realidad aumentada

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 (1968) sin embargo, el término realidad aumentada fue "acuñado" hasta el año 1992 por Caudell y Mizell para definir una técnica que permitía al usuario ampliar su campo de visión con mayor información.

El objetivo de esta apartado es realizar un recorrido histórico por los hitos que marcaron el inicio y la evolución de la realidad aumentada (Wagner, 2010).

1968. Ivan Sutherland (1968) creó el primer sistema de realidad aumentada que permitía ver objetos virtuales 3D superpuestos en un entorno real. El sistema estaba basado en un casco muy poco usable comparado con las gafas de RA que recientemente ha lanzado la compañía Google.

1992. Tom Caudell y David Mizell (1992) acuñan el término realidad aumentada para referirse a la superposición de material informático en un ambiente real. Caudell y Mizell discuten las ventajas de la realidad aumentada frente a la

realidad virtualizada ya que se requiere menos potencia de procesamiento y un menor número de píxeles son prestados en pantalla.

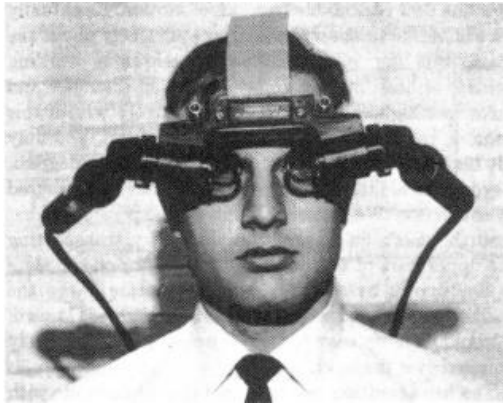


Figura 28. A head-mount display (Sutherland, 1968, p. 1323)

1993. Jack M. Loomis (1993) desarrolla un prototipo de navegación para personas con discapacidad visual. La aplicación utiliza los datos de una base de datos GIS (Sistema de Información Geográfica) y proporciona ayuda de navegación al usuario a través de un sintetizador de voz mediante una "pantalla virtual acústica".

1994. Paul Milgram y Fumio Kishino escriben "Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays" (1994), un artículo en el que se definen el "Continuum de realidad virtualidad" que abarca desde el entorno real hasta el entorno virtual; en medio se encuentra la Realidad Aumentada un entorno más cercano al mundo real.

1995. Jun Rekimoto y Katashi Nagao crean NaviCam (1995) una aplicación que se ejecuta en ordenador conectado a una pantalla móvil que captura el entorno

real a través de una pequeña cámara de video. Este sistema permite al usuario ver el mundo real con información asociada al contexto generado por el ordenador.

1996. Jun Rekimoto presenta marcadores de matrices en 2D, uno de los primeros sistemas de marcadores que permiten detectar la orientación de una superficie en un espacio tridimensional con 6 grados de libertad (Rekimoto, 1998).

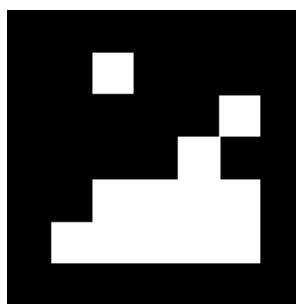


Figura 29. Marcador de matriz 2D (Rekimoto, 1998, p. 63)

1997. Ronald Azuma expone el primer estudio sobre Realidad aumentada. En su investigación Azuma identifica tres características principales de la realidad aumentada: combinación de lo real y lo virtual, interactividad en tiempo real y registración en 3D (Azuma, 1997).

Steve Feiner presenta "Touring Machine" (1997), el primer sistema de realidad aumentada móvil que utilizaba un casco transparente con un rastreador integral de orientación, una mochila que contiene una computadora, un GPS diferencial

y un radio digital para acceso web inalámbrico y una computadora de mano con una interfaz de pantalla táctil.

Thad Starner realiza una investigación sobre las posibles aplicaciones de la realidad aumentada móvil (1997), además se crea una pequeña comunidad de usuarios.

1998. Bruce Thomas presenta "Map-in-the-hat" una computadora portátil que incluye un GPS, brújula electrónica y una pantalla montada en la cabeza. El sistema fue utilizado inicialmente como guía de navegación pero más tarde se convirtió en Tinmith una plataforma de realidad aumentada utilizada para múltiples proyectos de RA (Thomas, 1998).

1999. Hirokazu Kato y Mark Billinghurst presentan ARToolKit (1999), una librería de tracking visual con seis grados de libertad que permite reconocer marcas cuadradas (marcadores) mediante patrones de reconocimiento. ARToolKit se encuentra disponible bajo licencia GPL y es altamente utilizada en la creación de aplicaciones de RA.

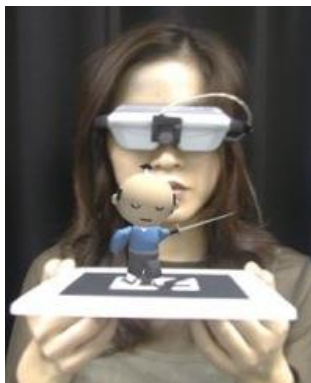


Figura 30. Ejemplo de RA con dispositivos HDM (Wagner, 2010, párr. 20)

2000. AR-Quake (Thomas et. al, 2000), extensión del popular juego Quake escritorio. ARQuake es un sistema de seguimiento a través de GPS y una brújula digital; el seguimiento es basado en el reconocimiento de marcadores de referencia. Los usuarios disponen de un sistema portátil informático en una mochila, un HMD y un simple dispositivo de entrada de dos botones.

Julier presenta Battlefield Augmented Reality system (BARS) (2000). El sistema consiste en un sistema portátil con conexión wifi y HMD que muestra de forma virtual una escena de batalla con información adicional sobre la infraestructura del entorno y sobre posibles enemigos.

2001. Proyecto AR-PDA (Fruend, 2001), una aplicación cuyo objetivo es proporcionar servicios de RA para el mercado de consumo utilizando un asistente digital personal. Las ideas básicas de diseño incluyeron el aumento de imágenes de la cámara real con objetos virtuales adicionales, por ejemplo para

la ilustración de la funcionalidad y la interacción con los equipos domésticos de uso común.

Reitmayr y Schmalstieg (2001) realizan un sistema RA móvil multiusuario, cuyo objetivo parte de combinar las ideas de la realidad aumentada móvil y la colaboración entre los usuarios en un espacio compartido.



Figura 31. Juego de Ajedrez - RA multiusuario (Reitmayr, Schmalstieg, 2001, p. 121)

Archeoguide (Vlahakis et. al, 2001), sistema RA móvil para sitios de patrimonio cultural. El sistema está construido alrededor de la zona histórica de Olimpia, Grecia. Contiene una interfaz de navegación, modelos 3D de los templos y las estatuas antiguas, y los avatares que están compitiendo por la victoria en la carrera histórica en el antiguo Estadio.



Figura 32. Avatares compiten en el estadio de la antigua Olimpia (Vlahakis et. al, 2001, p. 137)

Kretschmer presenta el sistema GEIST (2001), un sistema para la narración interactiva en entornos urbanos y / o históricos que proporciona información de la apariencia de los edificios en la antigüedad y acontecimientos o hechos históricos.

Columbia's Computer Graphics and User Interfaces Lab hace una demostración de su aplicación móvil de RA que sirve como una guía de restaurantes. La información de restaurantes de la zona se presenta a la vista del usuario, y se vinculan a menús, fotos y direcciones URL de los restaurantes (Bell, Feiner, Höllerer, 2001).

Crean el Browser RWWW (Kooper, MacIntyre, 2003), una aplicación móvil de RA que actúa como interfaz para la World Wide Web. Es el primer navegador de realidad aumentada.

2002. Michael Kalkusch realiza un sistema de realidad aumentada móvil para guiar a un usuario a través de un edificio desconocido hacia una habitación destino. El seguimiento se realiza mediante una combinación de marcadores ARToolKit montados en la pared observados por una cámara montada en la cabeza, y un rastreador inercial (Kalkusch, 2002).



Figura 33. Usuario guiado por navegación basado en marcadores (Kalkusch, 2002, p. 1)

2003. Pacman Humano (Cheok et. al, 2013). Un sistema móvil de entretenimiento interactivo que se basa en la posición y la perspectiva de detección a través del Sistema de Posicionamiento Global y sensores de inercia. Galletas virtuales y objetos reales con dispositivos Bluetooth y sensores capacitivos se incorporan en el juego para proporcionar nuevas experiencias de transiciones entre los mundos real y virtual.

2004. Mathias Möhring (2004) desarrolla una aplicación RA para tracking de marcadores 3D en un teléfono móvil. En este mismo año muestra en SIGGRAPH 2004 Emerging Technologies presenta The Invisible Train (Pintaric,

2004), la primera aplicación de Realidad Aumentada multiusuario para dispositivos de mano.



Figura 34. The invisible train (Pintaric, 2014)

2005. Anders Henrysson porta ARToolKit para Symbian. Sobre la base de esta tecnología presenta el famoso juego ARTennis (Henrysson, 2005), galardonado con el premio Independent Mobile Gaming; mejor juego para el 2005.

2006. Es presentado un modelo basado en un sistema de seguimiento híbrido de RA en entornos urbanos (Reitmayr, 2006). Esto permite tomar, en tiempo real, captura de vídeo sobre en un dispositivo tipo PDA, para la visualización de la escena. El sistema combina diferentes dispositivos externos.

2008. Mobilizy lanza Wikitude, una aplicación que combina el GPS y la brújula digital para mostrar datos de la wikipedia sobre lugares u objetos. Wikitude World Browser está desarrollado para el sistema operativo Android, existente actualmente en muchos dispositivos móviles. Metaio presenta una aplicación

móvil de RA como guía de un museo mediante el seguimiento de características naturales en una exposición de arte islámico. En su artículo se describen las experiencias realizadas en este proyecto (Miyashita et. al, 2008).



Figura 35. Visitantes con sistema de guía en la estación 2Visitantes con sistema de guía.
(Miyashita et. al, 2008, p. 106)

2009. PRXmobile lanza Layar, una variante avanzada de Wikitude. Layar utiliza el mismo mecanismo de registro que Wikitude: GPS + brújula, e incorpora esto en una plataforma cliente-servidor abierta. En este mismo año se crea el logo de la realidad aumentada con el objetivo de estandarizar la identificación de la tecnología.



Figura 36. Logo de Realidad Aumentada.

2012. Google lanza Project Glass.1, que consiste en unas gafas de realidad aumentada con el objetivo de ampliar la información visualizada por el usuario.



Figura 37. Project Glass 1.

4.2 Campos de aplicación

La exploración de la técnica de Realidad Aumentada (RA) se ha convertido en un tema de interés en los procesos de investigación actualmente. Siendo una tecnología altamente interactiva que permite enriquecer elementos de la realidad con información detallada, resulta atractiva para ser aplicada en diversos campos como la medicina, el diseño, la construcción, el entretenimiento y la educación, este último de especial interés para el proyecto.

4.2.1 Realidad aumentada en mercadeo y publicidad

La interacción con el cliente es un elemento esencial en toda estrategia de mercadeo, con el uso de la tecnología esta posibilidad se ha incrementado. La

realidad aumentada en esta área permite al usuario tener una experiencia cercana con el producto, esta experiencia es la que la marca Lego ha querido implantar en algunas de sus tiendas en el mundo; para esto ha dispuesto de terminales que capturan el producto y despliega en una pantalla un modelo 3D del mismo.



Figura 38. Realidad Aumentada LEGO DIGITAL BOX Kiosk – Metaio case studies.

4.2.2 Realidad aumentada en diseño de interiores

El uso de la Realidad Aumentada en el diseño de interiores es muy variado, va desde la posibilidad de proyectar colores, decorados y tapices; hasta permitir visualizar, ubicar y desplazar objetos virtuales en un espacio real como una habitación u oficina. Una forma de realizar este tipo de aplicaciones es a través del uso de marcadores ubicados en los diferentes lugares que generarán un entorno decorado virtualmente.

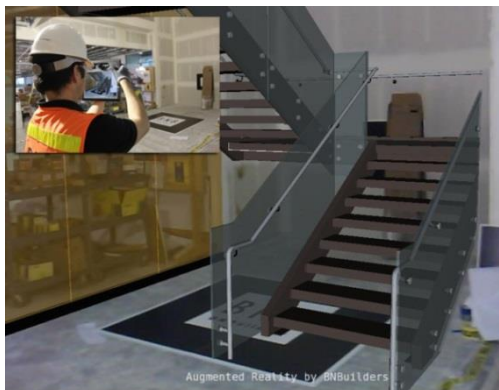


Figura 39. RA en diseño de interiores

4.2.3 Realidad aumentada en la educación

Uno de los usos más importantes de la realidad aumentada en la educación es la creación de los denominados *libros aumentados* en donde las páginas cobran vida a los ojos del lector; esta forma de aprendizaje genera un entorno dinámico e interactivo que resulta atractivo a todo tipo de estudiantes. El contenido virtual en estos libros incluye audios, videos y objetos 3D asociados a la lectura que se está realizando. ARBook es un portal web con una colección de libros de tópicos varios, donde la inclusión de la realidad aumentada enriquece su lectura y comprensión.



Figura 40. AR-Book: Principios Básicos en Anatomía de la Pierna y el Pie (Ferrer, 2013)

4.2.4 Realidad aumentada en la salud

El campo de la salud parece ser un área potencialmente aplicable de técnicas de realidad aumentada, sin embargo es poco explotado debido al riesgo que se genera por tratarse de la vida. En este ámbito, es obligatorio realizar algoritmos que determinen con una alta precisión los objetos virtuales para que la superposición en el cuerpo del paciente sea perfecta.



Figura 41. ARCASS para cirugía de columna (Wu et. al, 2014, p. 878)

4.3 Aplicaciones de RA en la salud

Siendo el tema de la salud el foco principal del proyecto el siguiente apartado muestra una serie de aplicaciones de realidad aumentada en esta área, algunas de ellas con fines educativos y otras con objetivos más complejos al ser utilizadas en intervenciones quirúrgicas.

4.3.1 ARCASS: Real-time advanced spinal surgery via visible patient model and augmented reality system

Asistente de cirugía de columna por medio de un sistema de RA avanzado, está basado en una guía de puntos de referencia colocados sobre el cuerpo del paciente, lo que permite la detección de marcadores superponiendo la imagen 3D de la columna por medio del dispositivo cámara-proyector antes de la cirugía. El propósito de esta aplicación ARCASS (Wu et. al, 2014) es reducir tiempos encontrando el punto correcto de incisión sobre el paciente y la reducción de radiación debido a la toma de placas durante el procedimiento.



Figura 42. Aplicación de ARCASS en cirugía de columna (Wu et. al, 2014, p. 876)

4.3.2 AR-Book: Principios Básicos en Anatomía de la Pierna y el Pie

Aplicación de Realidad Aumentada 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.

La prioridad de esta herramienta es darle importancia al aprendizaje autónomo por parte de los lectores, explorando los huesos, músculos y tendones desde todas sus perspectivas posibles, así como aprender mucho mejor cuál es su función y su movimiento (Ferrer, 2013).



Figura 43. AR-Book: Principios Básicos en Anatomía de la Pierna y el Pie (Ferrer, 2013)

4.3.3 Augmented Reality: The Brain

Perfect Prototype ha reunido un equipo de especialistas altamente calificados para desarrollar aplicaciones interactivas y visuales a través de nuevas tecnologías potentes enfocadas en la experiencia del usuario. La visión de la compañía es desarrollar aplicaciones para que las personas interactúen con ellas de forma natural, esta experiencia se encuentra en el Museo de Ciencia e Industria de Chicago que expone diversas aplicaciones de realidad aumentada entre ellas Augmented Reality: The Brain (Perfect Prototype, 2012).

Esta aplicación tiene como objetivo permitir la interacción de sus usuarios con un cerebro humano virtual manipulándolo y descubriendo cómo el cerebro

aprende y recuerda. El usuario puede elegir entre cualquiera de los ocho módulos de aprendizaje, en donde cada uno muestra modelos en 3D y animación asombrosa.

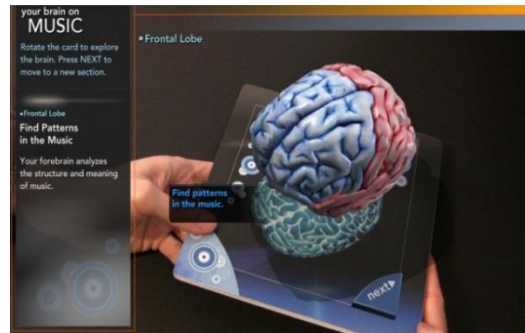


Figura 44. Augmented Reality: The Brain (Perfect Prototype, 2012)

4.3.4 Anatomy 4D

Anatomía 4D (Daqri, 2011) es una aplicación de realidad aumentada que permite a los estudiantes explorar y aprender la anatomía del cuerpo humano de una forma interactiva. Tiene como objetivo ser útil para todo tipo de personas; desde estudiantes hasta profesionales de la medicina. La aplicación permite separar los diferentes sistemas del cuerpo humano de manera que puede centrarse sólo en uno de ellos como por ejemplo el sistema digestivo o muscular.

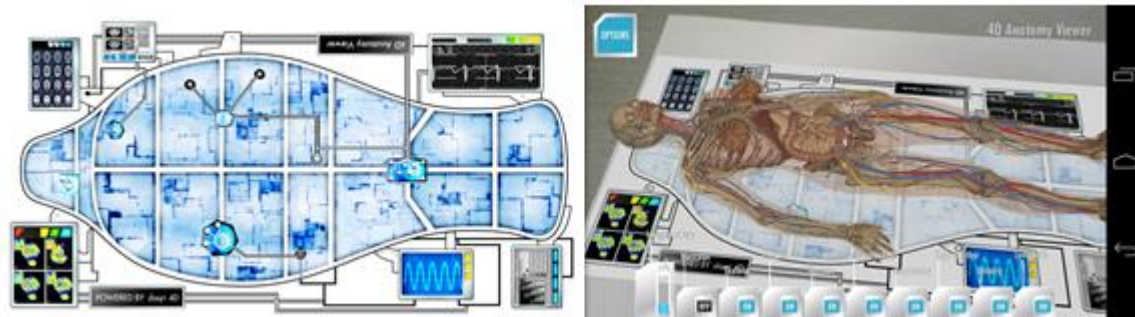


Figura 45. Anatomy 4D (Daqri, 2011)

4.3.5 X-Scope: Application of an augmented reality tool for maxillary positioning in orthognathic surgery – A feasibility study

X-Scope es una herramienta de RA para computador que permite visualizar estructuras anatómicas superponiendo en el rostro imágenes construidas a partir de tomografías o resonancias magnéticas del paciente. Esta aplicación fue utilizada en cirugía de mandíbula para controlar y minimizar fallos durante la intervención; el procedimiento se llevó a cabo con 5 pacientes con un rango de precisión de 1mm. La aplicación no solo está limitada a este tipo de cirugías, también podría considerarse su utilización en operaciones cráneo-maxilofacial o en la bóveda craneal (Mischkowski et. al, 2006).



Figura 46. Vista del cirujano del maxilar virtual. (Mischkowski et. al, 2006, p. 479)

4.3.6 An Augmented Reality Based Teeth Shade Matching System

Aplicación de realidad aumentada basada en la concordancia de la apariencia del diente del paciente capturado por la cámara y los estándares cromáticos (color de los dientes) estéticamente aceptados, se analiza el aspecto del diente, se le aplica un modelo de dispersión sobre la superficie para sintetizar el diente virtual que se utiliza para superponerlo sobre el diente original y así probar la combinación y correspondencia con los demás dientes. El sistema tiene un potencial prometedor para ser aplicado en clínicas de odontología y la industria dental (Qiao, Wang, Weng, Qi, 2011).



Figura 47. Resultados Obtenidos del sistema R.A (Qiao, Wang, Weng, Qi, 2011).

4.3.7 Haptic Augmented Reality Dental Trainer with Automatic Performance Assessment

Simulador de entrenamiento dental para diferentes procedimientos como preparación de coronas dentales y acceso al núcleo por medio por medio de diferentes fresas dentales (Rhienmora et. al, 2010). La aplicación permite a los estudiantes practicar la cirugía como si fuese en un ambiente real mediante la combinación de modelos de dientes y herramientas 3D. El sistema controla características importantes como fuerzas aplicadas y movimiento de la herramienta ya que caracterizan la calidad de estos procedimientos, también brinda evaluación automática del rendimiento comparando los resultados y procesos de un estudiante con el de un experto.

La aplicación genera el modelo volumétrico del diente de un paciente por medio de un marcador, su estructura se digitaliza y mantiene dentro de una grilla, se detecta la entrada de la fresa en esa grilla y así se calcula la fuerza aplicada basándose en el número de puntos con los que interactuó en el diente. Para su desarrollo se utilizaron librerías de ARToolkit.

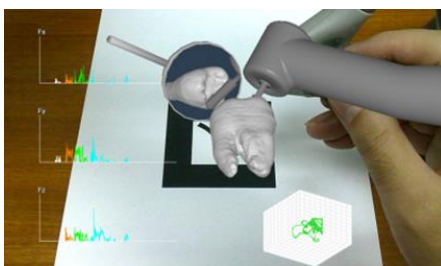


Figura 48. Entorno de AR con retroalimentación cinemática. (Rhienmora et. al, 2010, p.)

4.3.8 ARDental

La aplicación ARDental es el resultado de la investigación realizada en un trabajo de Máster de la Universidad Politécnica de Valencia (Alexandrescu, 2013). Esta aplicación permite a los estudiantes visualizar la dentadura humana en formato 3D a través de la pantalla de un dispositivo móvil mediante la utilización de un marcador. A través de botones virtuales los estudiantes pueden seleccionar o suprimir las estructuras 3D que reproducen a la perfección la morfología de los dientes. ARDental está también diseñada con el objetivo de ser una herramienta de apoyo a la información presentada por los profesores en sus clases.

La aplicación está basada en la herramienta de RA Vuforia SDK y los objetos virtuales 3D fueron construidos mediante la utilización de Unity3D.



Figura 49. ARDental (Alexandrescu, 2013, p. 34)

4.3.9 Digital 3D Prostheses

Prostheses (Virtuallis Augmented Reality) una aplicación desarrollada por la compañía VirtuallisAR dedicada al desarrollo de soluciones de realidad aumentada. La aplicación permite la visualización en 3D de la morfología dental compuesta por la boca y sus huesos, los dientes superiores e inferiores, la mandíbula y sus músculos. Mediante la utilización de botones virtuales que son puestos en pantalla se pueden mostrar u ocultar las estructuras 3D que reproducen la cavidad bucal al tiempo que se reproduce un video con información relacionada. La aplicación utiliza un marcador para la renderización del objeto 3D, los botones virtuales y la reproducción del video.



Figura 50. Prostheses (Virtuallis Augmented Reality)

4.4 Realidad aumentada en el entorno cercano

La Realidad Aumentada como tecnología altamente aplicable en diferentes campos ha cobrado importancia a nivel nacional; particularmente en un entorno regional más cercano durante el año 2013 fueron realizados en la Universidad

Industrial de Santander algunos proyectos de RA enmarcados en trabajos investigativos para tesis de grado y maestría; uno de los proyectos desarrollados está enfocado a ser una herramienta de apoyo en el aprendizaje de un área específica.

4.4.1 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

Este proyecto desarrolló un prototipo 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. Para el desarrollo fue utilizado Junaio SDK como herramienta para realizar aplicación de RA (Martínez, Hernández, 2013).

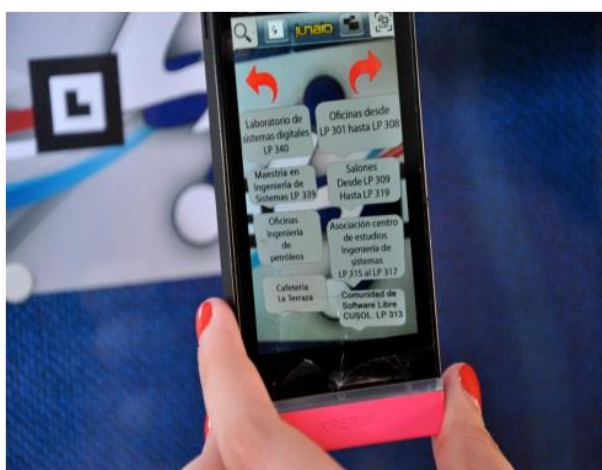


Figura 51. Interfaz gráfica del proyecto: Aplicación del Concepto de Ciudades Inteligentes "Smart Cities", en el Desarrollo de Aplicaciones para Dispositivos Móviles Haciendo Uso de Realidad Aumentada para Localización en Interiores (Martínez, Hernández, 2013, p. 59).

4.4.2 Diseño y Desarrollo de un Módulo de Apoyo a la Enseñanza de la Química Básica en la Media Vocacional por Medio de la Realidad Aumentada (RA)

Esta tesis de grado proporciona una nueva forma de enseñanza de la química básica mediante la utilización de Realidad Aumentada a través de una herramienta que permita una visualización gráfica de los conceptos básicos de la química mejorando la experiencia en el proceso educativo (Figueroa, Angarita, 2013).

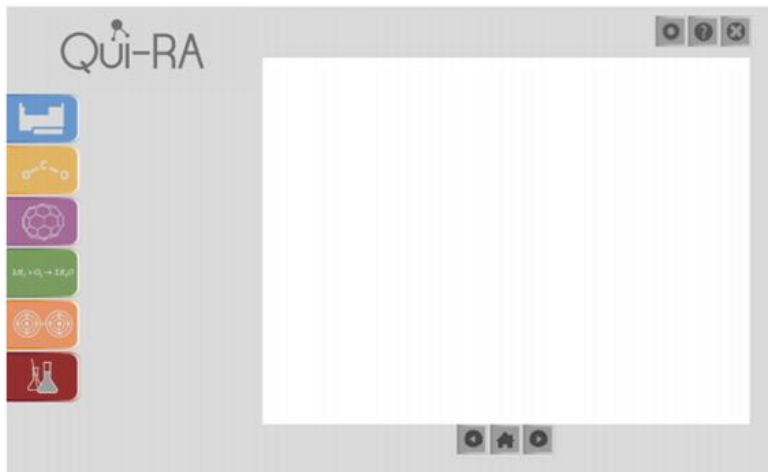


Figura 52. Interfaz gráfica del proyecto: Diseño y Desarrollo de un Módulo de Apoyo a la Enseñanza de la Química Básica en la Media Vocacional por Medio de la Realidad Aumentada (RA) (Figueroa, Angarita, 2013 p. 111)

4.4.3 Desarrollo de una Aplicación Móvil Basada en la Realidad Aumentada para la Ubicación Geo localizada de Lugares de Interés al Interior de la Universidad Industrial de Santander

El proyecto tiene como objetivo facilitar la ubicación de los visitantes al interior del campus principal de la Universidad Industrial de Santander, mediante una aplicación móvil haciendo uso de Realidad aumentada (Díaz, Pérez, 2013).

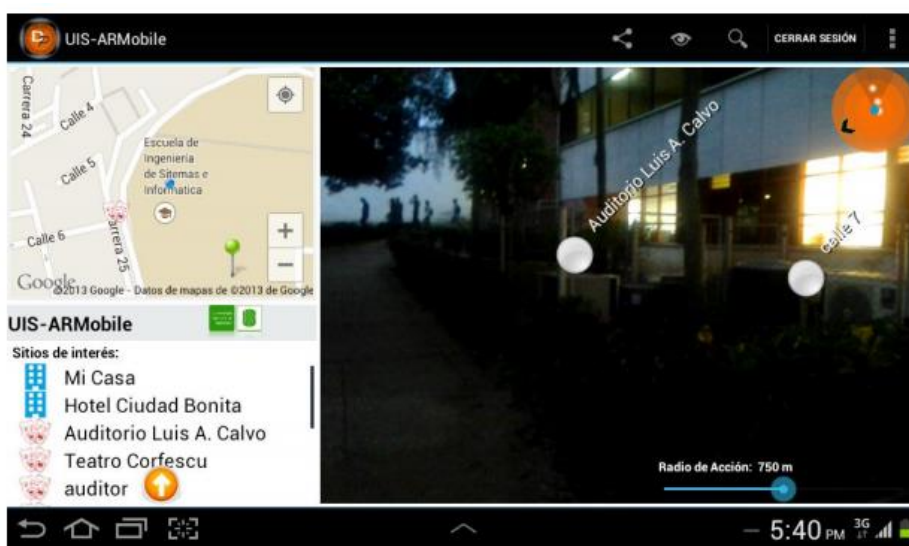


Figura 53. Interfaz gráfica del proyecto: Desarrollo de una Aplicación Móvil Basada en la Realidad Aumentada para la Ubicación Geo localizada de Lugares de Interés al Interior de la Universidad Industrial de Santander (Díaz, Pérez, 2013, p. 99)

5 METODOLOGÍA Y RECURSOS

El uso de una metodología es importante en el desarrollo de un proyecto ya que inicialmente las ideas son vagas e imprecisas. Una metodología permite transformar estos primeros planteamientos para darle una forma más estructurada.

La metodología de desarrollo incremental combina elementos del modelo lineal secuencial (aplicados repetidamente) con la filosofía interactiva de construcción de prototipos. Es decir, bajo este modelo se obtiene software “por partes funcionales más pequeñas”, pero reutilizables, llamadas incrementos. En general cada incremento se construye sobre aquel que ya fue entregado. Siguiendo esta metodología las actividades realizadas durante el desarrollo del proyecto se describen a continuación.

5.1 Actividades

Inicialmente se identificó la problemática a la cual el proyecto daría solución, para dar lugar al planteamiento de los objetivos, alcance y la justificación del mismo. En una segunda fase se realizó una investigación de las bases teóricas sobre temas que enmarcan el concepto Realidad Aumentada permitiendo dar una visión más precisa de lo que se deseaba desarrollar y adquiriendo conocimientos que fueron fundamentales durante todo el desarrollo del

proyecto. Como resultado de esta fase se estructura el marco teórico sobre el cual se sustenta el proyecto.

Una vez plasmados los conceptos técnicos importantes en torno a la Realidad Aumentada, se realizó la revisión de la literatura existente que permitió consultar y obtener el estado pasado y actual acerca de la temática de estudio: Nacimiento y evolución de la realidad aumentada como tecnología móvil, revisión de los campos de aplicación de la realidad aumentada, publicaciones y trabajos relacionados. Como resultado de esta fase se estructura el estado del arte.

Debido al desconocimiento previo del área de enfoque del proyecto fue necesario realizar un estudio de las características de la anatomía dental humana: nombres, composición, función y ubicación; y validar esta información con personas competentes en el área con lo cual, la Ortodoncista Rocío Alvarez y la Odontóloga Yelitza Lilibeth González Hernández dieron su aporte en la verificación de la información e ideas para funcionalidades que estarían contenidas en la aplicación.

En una siguiente fase se realizó el estudio de las principales herramientas para el desarrollo de aplicaciones de RA en dispositivos móviles Android; mediante el diseño y ejecución de pruebas sobre las diferentes herramientas para verificar su eficacia y eficiencia, se obtuvo como resultado la herramienta con la cual se desarrolló la aplicación móvil. Posterior a esto se consultó acerca de

herramientas de modelado 3D; en base a la documentación encontrada sobre estas y la curva de aprendizaje requerida para su manejo se seleccionó Blender para el modelamiento 3D y se llevó a cabo la construcción de los objetos virtuales que se encargarán de “aumentar” el entorno real acerca del estudio básico de la anatomía de la dentadura humana.

Teniendo el modelo 3D que estaría contenido en la aplicación se realizó un diseño de la misma que posteriormente se implementó en el desarrollo final de la aplicación de Realidad Aumentada. Por último se realizaron pruebas de funcionamiento sobre diferentes dispositivos móviles Android.

5.2 Recursos

Para llevar a cabo el desarrollo del proyecto fue necesaria la utilización de los siguientes recursos hardware y software.

5.2.1 Recurso Hardware

Equipo de desarrollo: Computador portátil o de escritorio que permitió crear el ambiente de desarrollo para la construcción del proyecto. En la Tabla 4 se listan las características mínimas que debe cumplir el equipo.

Tabla 4. Características recurso: Equipo de desarrollo

Características	
Sistema Operativo	Microsoft Windows 7 64-bit
Disco Duro	Disco Duro SATA de 500GB (mínimo)
Memoria RAM:	4GB (mínimo)
Procesador:	procesador Intel® Core™ i3 (3MB Caché, 1.70 GHz) (mínimo)

Dispositivos móviles: Para el desarrollo del proyecto se debe contar con mínimo dos dispositivos móviles (Smartphone o Tablet) para la instalación de la aplicación desarrollada y las pruebas de funcionamiento correspondientes. En la Tabla 5 se listan las características mínimas que debe cumplir los dispositivos.

Tabla 5. Características recurso: Equipos móviles

Características	
Sistema Operativo	Android Jelly Bean (4.1, 4.2, 4.3)
Memoria RAM:	Memoria interna de 8 GB
Procesador:	Procesador de aplicaciones Dual Core, Velocidad de CPU de 1.2 GHz (mínimo)
Pantalla	Pantalla táctil de 5,1", 7.0 o 10.1"
Cámara	Resolución de la cámara de 3 megapíxeles (mínimo)
Conexiones	USB v2.0
Red Wifi	Wifi 802.11a/b/g/n/ac

5.2.2 Recurso Software

Herramientas de RA

Vuforia: Vuforia 3.0.9

Metaio: metaio SDK 5.5.1

Wikitude: WikitudeSDK 3.3.1

Arpa SDK

Target Manager – Vuforia Developer: Online

Herramientas de Modelado

Blender 2.69.0

Herramientas de Desarrollo

Unity 3D y Monodevelop 4.6.1f1

Android Developer Tools (ADT)

6 HERRAMIENTAS ANALIZADAS

6.1 Introducción

Uno de los objetivos planteados para el proyecto es investigar y seleccionar la herramienta SDK para el desarrollo de la aplicación de Realidad Aumentada planteada en el objetivo general.

Dentro de la investigación previa realizada de los principales SDK de Realidad Aumentada no existen muchos trabajos comparativos que describan las potencialidades diferenciadoras de un framework frente a otro. Si bien en el blog SocialCompare (Davis, 2012) 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”* (Serrano, 2012), 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; 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 (AWE, 2013) categoría que tuvo como finalistas a Artoolkit de ARToolworks Inc Organization, Daram SDK de Arpa Solutions, Vuforia SDK de Qualcomm Incorporated, Metaio SDK de Metaio Organization y Wikitude SDK de Wikitude GmbH Organization; 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 selecciona las herramientas Wikitude, Metaio, Vuforia y Daram SDK, además por ser herramientas que disponen de una versión libre para ser utilizada por desarrolladores; no se tiene en cuenta Artoolkit debido a que se limita al reconocimiento de marcadores clásicos y es de interés para el proyecto centrarse en aquellas herramientas que permitan el reconcomiendo de imágenes naturales.

6.2 Herramientas SDK analizadas

Como ya se mencionó anteriormente, para definir la mejor herramienta de RA a ser utilizada en el proyecto serán analizados los siguientes SDK's:

6.2.1 Vuforia SDK

Vuforia es un SDK desarrollado por Qualcomm Incorporated, una empresa productora de chipsets para tecnología móvil. Una aplicación basada en el SDK para RA de Vuforia utiliza la pantalla del dispositivo móvil como una "lente mágica" donde los mundos reales y virtuales parecen coexistir. La aplicación procesa la imagen capturada por la cámara y la muestra en la pantalla del dispositivo para representar una visión del mundo físico. Luego, objetos virtuales 3D son superpuestos en la imagen capturada del mundo real.

Características:

Una visión general del SDK de Vuforia muestra las siguientes características:

- Soporte para plataformas Android, iOS y Unity
- Tipos de tracking
 - Marcadores clásicos
 - Imágenes naturales
 - Tracking de objetos 3D
- Interacción en tiempo real a través de botones virtuales
- Capacidad de importar cargar y renderizar modelos 3D en algunos de los formatos más comunes como .obj, .fbx, .3ds entre otros.
- Integración con Unity3D

Arquitectura

Una aplicación basada en AR SDK Vuforia se compone de los siguientes componentes principales:

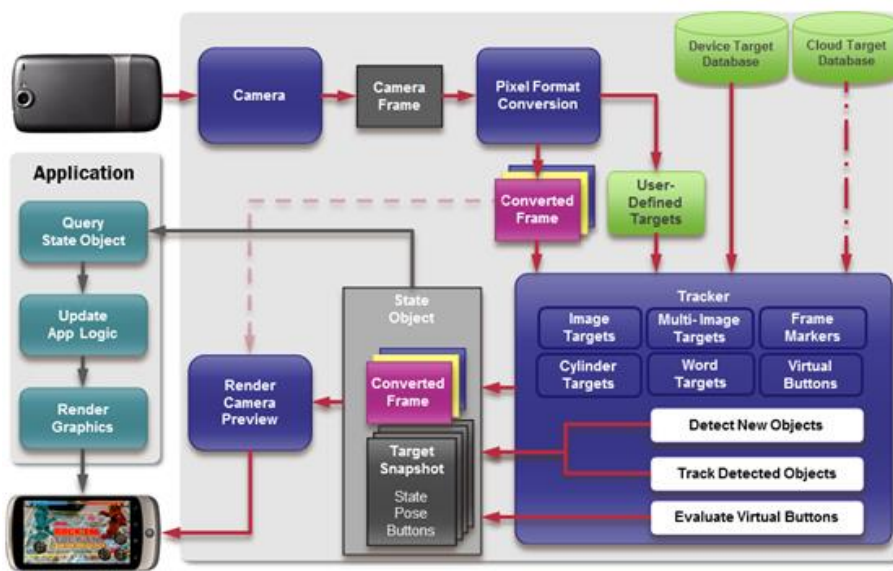


Figura 54. Arquitectura Vuforia SDK (Qualcomm Vuforia - Developers Portal, 2014).

- Cámara: el componente para la cámara se asegura de que cada frame capturado pase al tracker. El tamaño y formato de cada frame dependerá del dispositivo móvil utilizado.
- Image Converter: El Image Converter convierte desde el formato de la cámara a un formato adecuado para la representación de OpenGL ES y para el seguimiento.
- Tracker: El componente *tracker* contiene los algoritmos de visión que detectan y rastrean los objetos del mundo real en los fotogramas de vídeo de la cámara.

- Device database: Bases de datos (assets para los marcadores) almacenados en el dispositivo creados mediante el Target Management en línea de Vuforia. Estos *assets* son compilados por el desarrollador de la aplicación en el paquete de instalación de aplicaciones y son utilizados en tiempo de ejecución por el SDK Vuforia.

Creación de marcadores (targets)

Los marcadores son creados mediante un sistema online (Target Management) disponible de manera gratuita por Vuforia para desarrolladores registrados. Para crear un nuevo marcador para una aplicación basada en Vuforia se accede al Target Management y se procede a subir la imagen que se desea como marcador. El sistema analiza la imagen y asigna una calificación que indica la efectividad del marcador teniendo en cuenta las características especiales detectadas. Finalmente el sistema devuelve un archivo .xml con la configuración del marcador y un archivo binario que contiene los datos rastreables.

6.2.2 Metaio SDK

Metaio Mobile SDK es una herramienta que permite el desarrollo de aplicaciones RA para plataformas Android e iOS creada por la empresa Metaio en Alemania. Incluye un potente motor de renderizado en 3D, además de un plug-in que habilita la integración con Unity3D. Metaio SDK permite el reconocimiento y seguimiento Markerless 2D y 3D.

Características:

- Tracking avanzado: seguimiento de imágenes en 2-D, objetos y entornos 3D, códigos de barras, códigos QR, seguimiento basadas en la localización y continua búsqueda visual.
- Multiplataforma: desarrollo en forma nativa para las principales plataformas (iOS, Android, Windows y Unity).
- Compatible con formatos 3D: .obj para objetos estáticos, .md2 y .fbx para objetos animados.

Arquitectura

Metadio SDK está implementado de forma modular, divide la actividad de RA en tres componentes principales: Capturing, Tracking y Rendering. El componente de capturing permite a través de un dispositivo de captura (cámara) la escena del mundo real, el componente rendering permite la renderización y superposición de los objetos 3D en la pantalla del dispositivo, el componente tracking contiene los algoritmos de visión que detectan y rastrean los objetos del mundo real.



Figura 55. Arquitectura Metaio SDK (Metaio Developer Portal, 2014)

6.2.3 Wikitude SDK

Wikitude SDK es una librería de Realidad Aumentada desarrollada por la empresa Wikitude GmbH (antes Mobilizy GmbH); fue publicado por primera vez en octubre de 2008, con Wikitude es posible visualizar en la pantalla de un dispositivo móvil información acerca de los alrededores en base a la posición de un usuario. Wikitude es la primera aplicación disponible para el público que utiliza un enfoque de realidad aumentada basada en geo posicionamiento. Además de ser un “navegador de RA” Wikitude también permite la creación de aplicaciones que renderizan en pantalla objetos 3D mediante tracking basado en marcadores e imágenes naturales.

Características:

- Soporte para plataformas Android, iOS
- Tipos de tracking
 - Marcadores clásicos
 - Imágenes naturales
 - Geo posicionamiento
- Reconocimiento y seguimiento de imágenes
- Servicios basados en localización con geo datos.
- Aumentación de video
- Renderizado de modelos 3D.

6.2.4 ARPA SDK

Arpa SDK es una librería de Realidad Aumentada desarrollada por la empresa Arpa Solution. La empresa Arpa Solutions, desde la puesta en marcha de la actividad, ha basado su estrategia en una apuesta clara por la innovación, investigación y desarrollo a los móviles y “wearable computers” para interactuar con el entorno y añadir información digital al mundo físico que nos rodea

Características:

- Soporte para plataformas Android, iOS y Windows
- Soporte a contenido multimedia como audio, video, texto, contenido 2D, contenido y animaciones 3D.

- Tracking gps (en una de sus versiones pagas)
- Tracking 3D face (en una de sus versiones pagas)

6.3 Diseño de las pruebas realizadas

Para la realización de las pruebas fue necesario el uso de las siguientes herramientas software:

- Eclipse: IDE de desarrollo
- Java Development Kit (JDK) : Kit de desarrollo de Java
- Android SDK: Kit de librerías necesarias para desarrollo sobre plataformas Android.
- Blender 2.69 para el diseño y creación de objetos 3D.

En la ejecución de las pruebas han sido utilizados dos dispositivos móviles: un smartphone y una tablet. Ambos dispositivos cumplen con las características descritas en la tabla 5 y fueron configurados bajo la opción de “Depuración USB” para permitir la instalación de las aplicaciones de cada SDK para el desarrollo de las pruebas. Los dispositivos utilizados se listan a continuación:

- Samsung Galaxy s3 mini GT-I9190L con Android Jelly Bean 4.1.2
- Samsung Galaxy Note 10.1 Edition 2014 LTE SM-P605 con Android Jelly Bean 4.3

6.3.1 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 que es renderizado por la aplicación al ser detectado el marcador. 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.

6.3.1.1 Marcadores

El marcador por defecto de los ejemplos de cada SDK no fue modificado ya que se consideró que si cada una de las librerías define un marcador por defecto este es probablemente con el cual la detección y el seguimiento es más eficiente por lo tanto resulta interesante comparar bajo los objetivos de las pruebas dicha eficiencia del SDK cuando su propio marcador es afectado como por ejemplo en su tamaño.

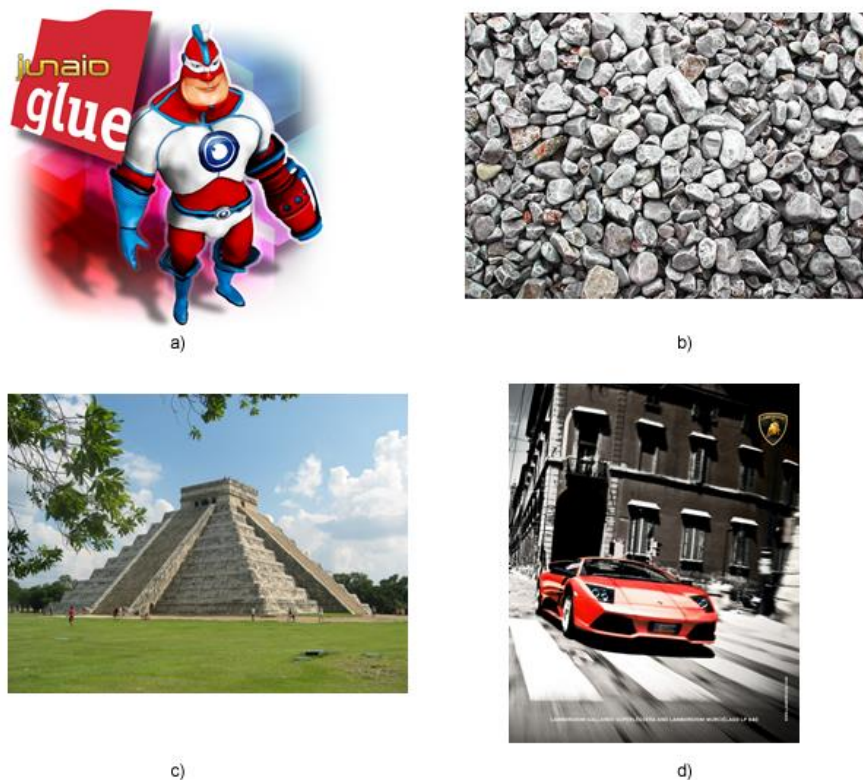


Figura 56. Imágenes naturales como marcador de los SDK. a) Marcador metaio, b) Marcador vuforia, c) Marcador arpa, d) Marcador Wikitude.

6.3.1.2 Objetos 3D

Para la ejecución de las pruebas fue creada una caja de madera en Blender que se configuró para cada SDK como el objeto 3D en la aumentación. Sin embargo no todos los SDK aceptan el mismo tipo de formato por lo que se realizaron varios procesos de exportación del objeto desde Blender para ser utilizado en cada uno de los ejemplos. Para Vuforia fue necesario el uso de un script en Perl que permitiera exportar desde Blender en formato .h que maneja OpenGL ES cuyo contenido define la geometría del objeto. Del archivo .h son extraídos los vértices, coordenadas, normales, índices y texturas del objeto que son utilizados por Vuforia para la renderización 3D.

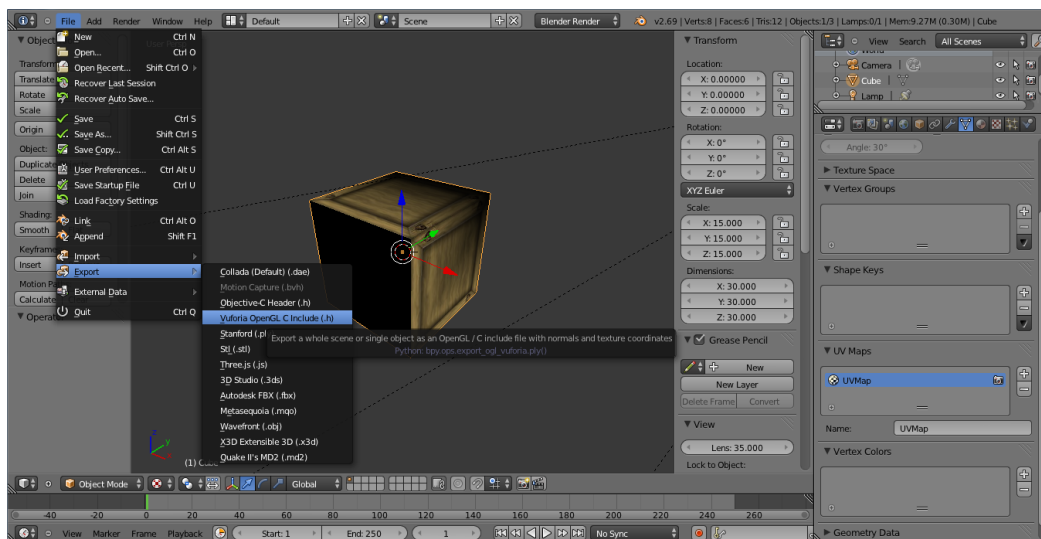


Figura 57. Exportación desde Blender para Vuforia.

Wikitude por su parte acepta únicamente formato .wt3, un formato propio para la renderización de objetos 3D. Para generar ese tipo de formato es necesario descargar el software Wikitude 3D Encoder disponible de manera gratuita en el sitio oficial del SDK y exportar desde Blender el objeto 3D en formato COLLADA; formato aceptado para ser cargado en el Encoder de Wikitude para obtener el archivo .wt3 a ser utilizado en la aplicación.

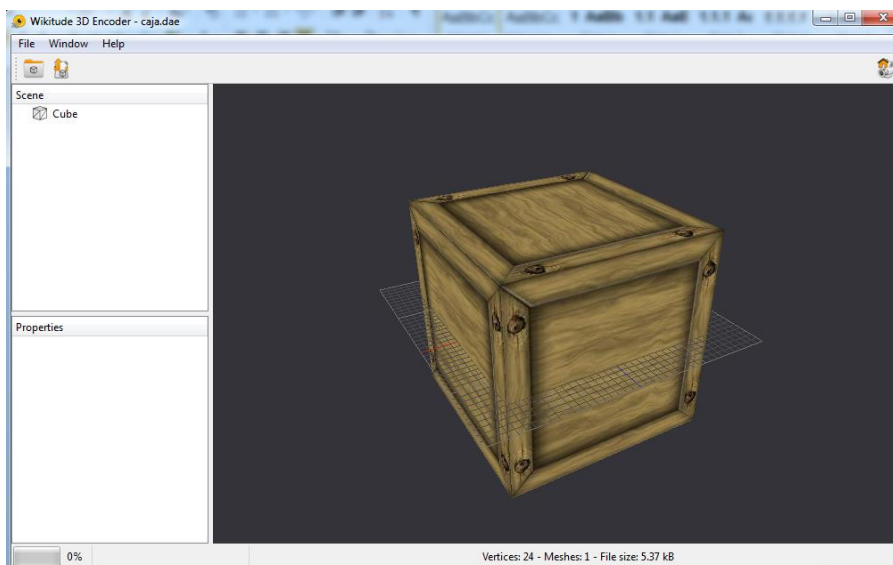


Figura 58. Exportación .wt3 desde Wikitude 3D Encoder

En el caso de Metaio también fue necesaria la utilización de un script escrito en Perl que permitiera la exportación en formato .md2. Por su parte para Arpa SDK también fue exportado el objeto en formato .h para OpenGL ES, al igual que en Vuforia del archivo se extraen los vértices, coordenadas, normales, índices y texturas del objeto que son utilizados por Arpa SDK para la renderización 3D.

6.3.2 Pruebas realizadas

Para estudiar la eficiencia de cada SDK frente a diferentes situaciones se han realizado las siguientes pruebas, para esto se instalaron los ejemplos de cada herramienta configurados con el objeto 3D creados en Blender en los dos dispositivos (Smartphone y Tablet).

6.3.2.1 Reconocimiento del marcador cuando éste es ocultado

parcialmente

En este tipo de prueba el objetivo es encontrar el SDK que presente 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 porcentajes descritos en la tabla 6 que muestra los resultados obtenidos.

Tabla 6. Resultados prueba: reconocimiento del marcador cuando está oculto parcialmente.

% de oclusión	Vuforia	Metaio	Wikitude	Arpa
25%	✓	✓	✓*	✓
50%	✓	✗	✓*	✓*
75%	✓	✗	✓*	✗
87.5%	✓	✗	✗	✗
93.75%	✗	✗	✗	✗

* El objeto virtual 3D es renderizado de manera inestable.

Conclusiones

Vuforia tuvo una mejor eficiencia a la hora de reconocer el marcador con un porcentaje alto de oclusión, Metaio por su parte de acuerdo a las pruebas tuvo el más bajo rendimiento pudiendo solo reconocer el marcador con cubrimientos menores al 50%, para Metaio 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 es estable, su tamaño y ubicación se distorsionan; este comportamiento puede darse debido a que hay suficientes datos rastreables capturados para definir la posición del objeto 3D.

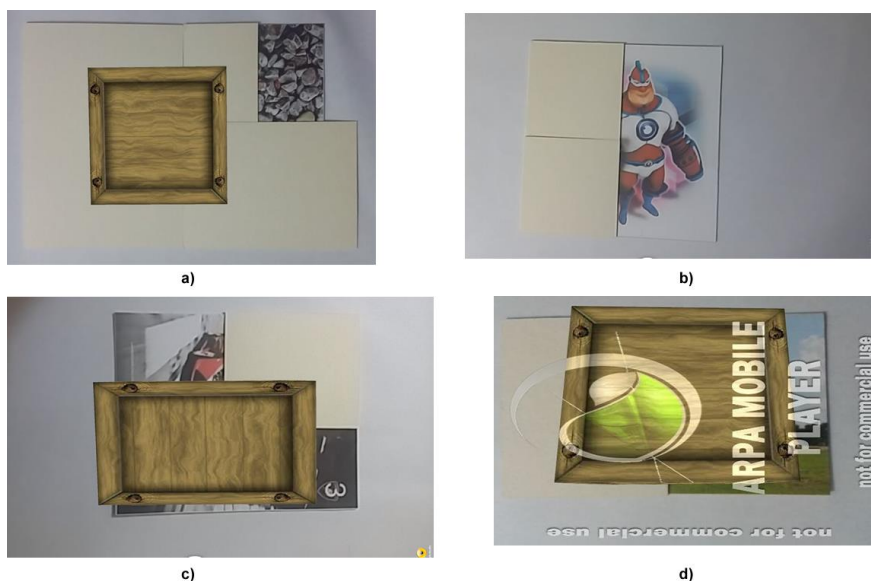


Figura 59. Ejemplo de ejecución de a) Vuforia, b) Metaio, c) Wikitude, d) Arpa con oclusión del marcador.

6.3.2.2 Reconocimiento del marcador bajo poca luminosidad del entorno

El propósito de esta prueba es comparar entre los SDK cual tiene mayor eficiencia en el reconocimiento del marcador cuando hay 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 sobre el marcador (ver figura 60). La tabla 7 muestra los resultados obtenidos.

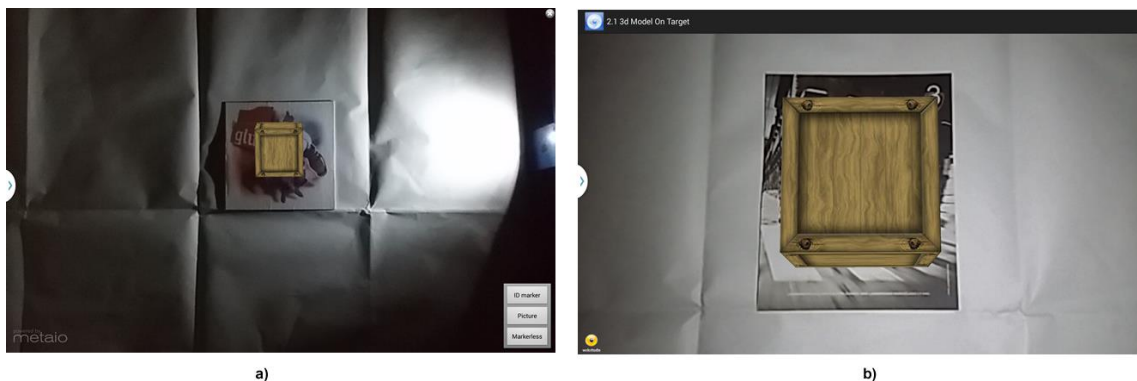


Figura 60. Ejemplo de ejecución de a) Metaio y b) Wikitude de la prueba: Reconocimiento del marcador bajo poca luminosidad del entorno

Tabla 7. Resultado prueba: Reconocimiento del marcador bajo poca luminosidad del entorno

SDK	Luz proyectada desde arriba	Luz proyectada desde un costado
Vuforia	✓	✓
Metaio	✓ *	✓ *
Wikitude	✓ *	✗
Arpa	✗	✗

* Inestabilidad mínima en la detección

Conclusiones

El resultado de esta prueba refleja 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 tal donde no fue posible la detección del marcador bajo las condiciones planteadas

6.3.2.3 Reconocimiento del marcador según su inclinación

El objetivo de esta prueba es 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 (ver figura 61). 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).

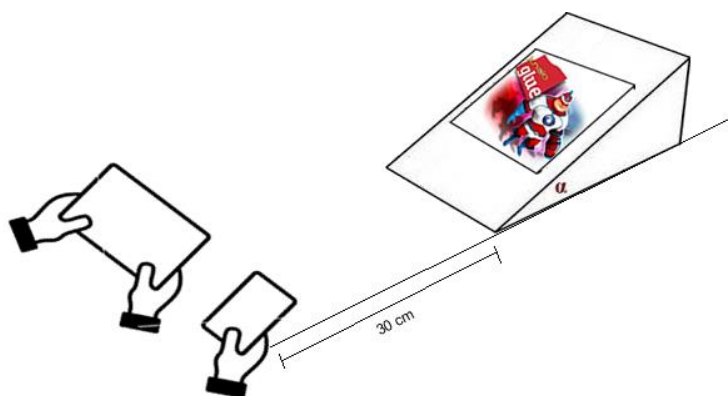


Figura 61. Diseño de la prueba: Reconocimiento del marcador según su inclinación

Los resultados obtenidos en la prueba de inclinación del marcador con respecto al plano que soporta el dispositivo se muestra en la tabla 8.

Tabla 8.Resultado de la prueba: Reconocimiento del marcador según su inclinación

Angulo de inclinación	Vuforia	Metaio	Wikitude	Arpa
0°	✓*	✗	✗	✗
15°	✓*	✓	✓**	✗
30°	✓	✓	✓**	✗
45°	✓	✓	✓**	✓***
60°	✓	✓	✓	✓***
75°	✓	✓	✓	✓
90°	✓	✓	✓	✓

* Inestabilidad mínima en la detección y tracking

** Inestabilidad en la detección, estabilidad en el tracking

*** Inestabilidad alta en la detección y tracking

Conclusiones

Como se observa en la tabla de resultados 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.

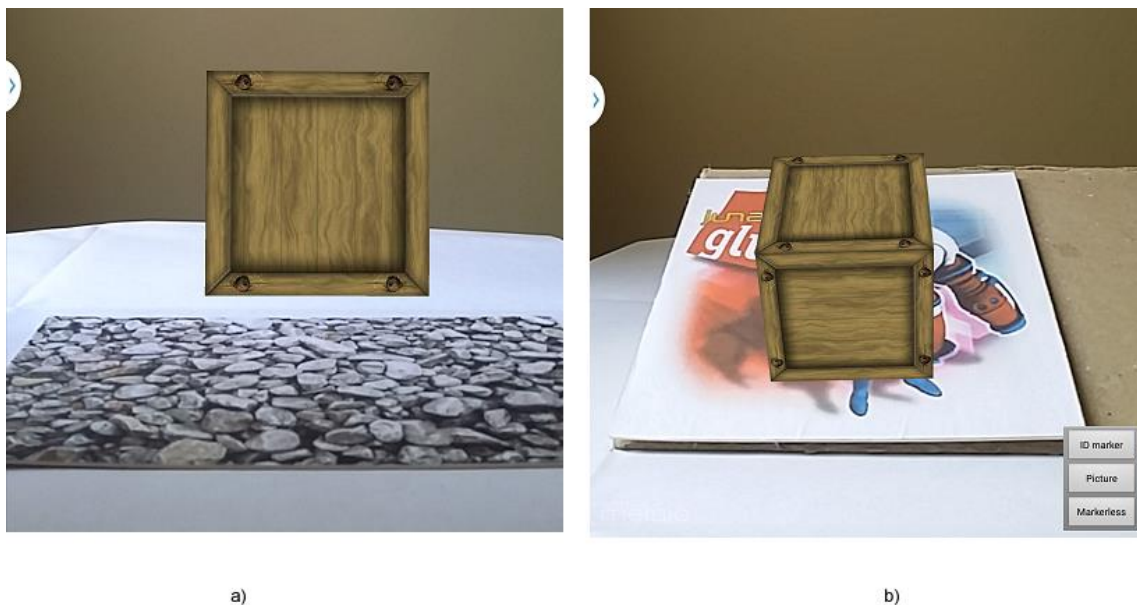


Figura 62. Ejemplo de ejecución de a)Vuforia a 0° y b)Metaio a 30° para la prueba:
Reconocimiento del marcador según su inclinación

6.3.3 Conclusiones generales

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 eliminar esta marca. En el caso particular de Arpa en la versión libre la marca de agua es muy notoria (Figura 59d) y solo permite la detección del marcador y renderización del objeto 3D por 10 segundos, pasado este tiempo la aplicación deja de funcionar; además solo la versión paga permite modificar el marcador por defecto. Por lo anterior Arpa SDK no es la herramienta idónea a ser utilizada para el desarrollo del proyecto. En conclusión por los resultados de las pruebas y los estudios previos a estas, la herramienta de RA para el desarrollo del proyecto será Vuforia.

7 MODELADO DE OBJETOS VIRTUALES 3D

Para el enfoque del proyecto, en el cual la Realidad Aumentada está orientada a la renderización de objetos virtuales 3D fue necesaria la construcción de piezas dentales y de la dentadura completa que estará en la aplicación a ser desarrollada. En esta sección se describe el proceso de modelamiento realizado para la producción de los objetos 3D descritos anteriormente.

7.1 Herramienta de modelamiento 3D

Existen en el mercado diversas herramientas de modelamiento 3D. Blender fue la herramienta escogida para el proyecto debido a que es ampliamente utilizada en el ámbito de la producción de contenidos de Realidad Aumentada. La principal características de Blender es la potencialidad de poder crear cualquier figura geométrica a partir de cero o por medio de figuras prediseñadas. Tiene su propio formato *.blend* que es compatible con todas las versiones existentes del programa. Además, cuenta con una característica particular de auto-guardado mientras se construye el proyecto, así, en caso de alguna eventualidad poder recuperar el archivo que se estaba generando. Blender permite la visualización de los objetos creados a través de diferentes vistas: frontal, trasera, de perfil (izquierdo y derecho) además de poder ver los modelos en alzado y en perspectiva.

En el proyecto fue necesario el auto-aprendizaje de la herramienta a través de su documentación, cursos y blogs virtuales que permitieron conocer su manejo.

7.2 Proceso de modelamiento: piezas dentales y dentadura.

A continuación se describe paso a paso el modelamiento de las piezas dentales y dentadura en Blender.

7.2.1 Modelos 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* (Wikipedia). Los *model sheets* son utilizados como material de referencia a fin de permitir proporciones adecuadas en el modelado 3D.

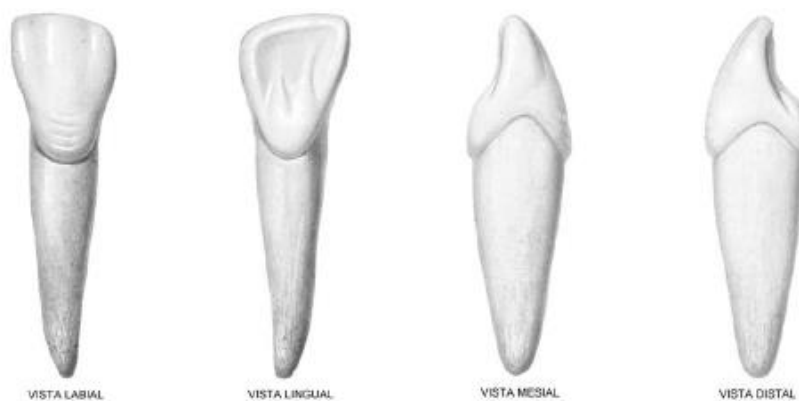


Figura 63. Model sheet incisivo lateral superior derecho permanente (SAM, p. 26)

Para el modelado en Blender de objetos tridimensionales basados en model sheet es necesario cargar el modelo como imagen de fondo en la ventana de la herramienta que servirá como guía en la generación de contenidos. Blender también ofrece la posibilidad de visualizar el objeto a través de distintas ventanas en diferentes ángulos lo que facilitó la producción de cada pieza dental. En la siguiente imagen se muestra la realización de una de las piezas dentales utilizando el model sheet de la figura 63.

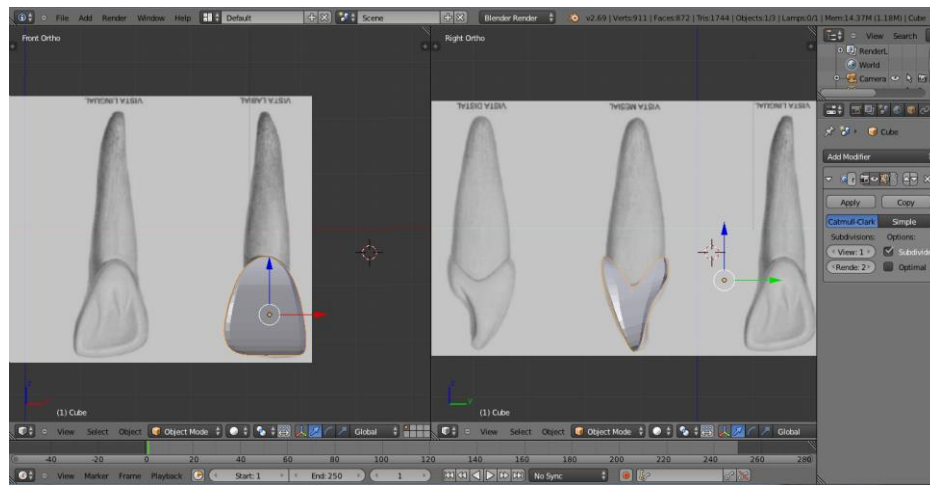


Figura 64. Modelado 3D Blender con models sheet como referencia.

La construcción de las piezas dentales se basó en figuras básicas, en este caso de cubos, que mediante funciones propias de Blender de extrusión, 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.

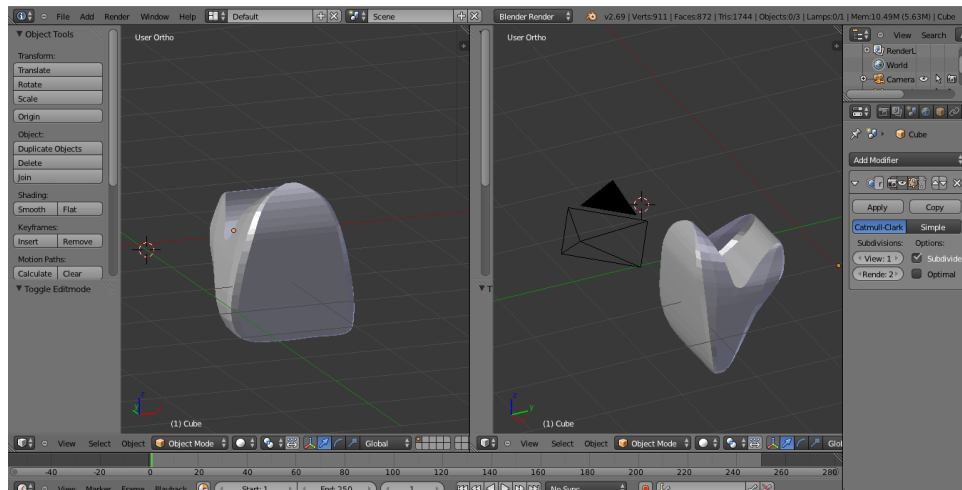


Figura 65. Modelamiento de piezas dentales en Blender.

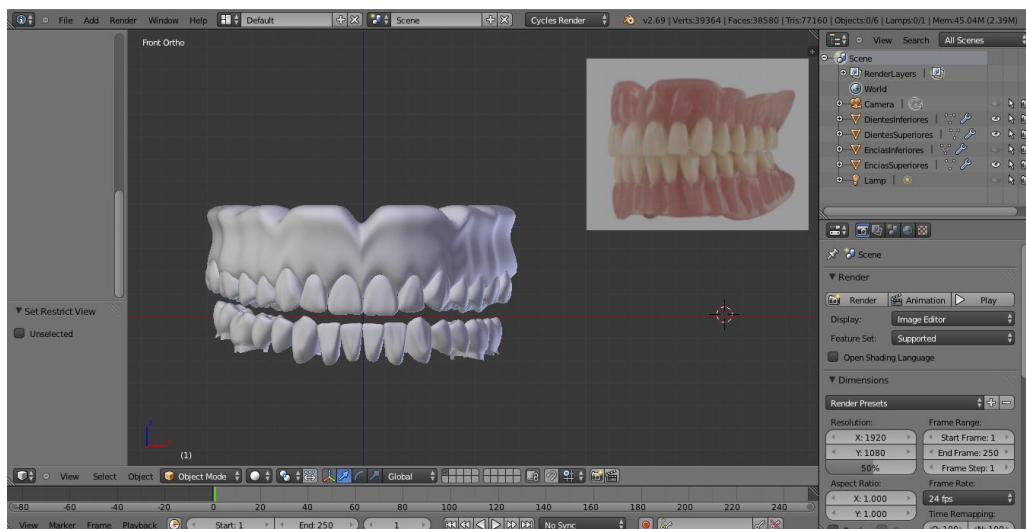


Figura 66. Modelamiento de la dentadura humana en Blender.

7.2.2 Materiales y Texturas

Una vez generados los objetos 3D deben ser aplicados materiales y texturas que ayuden 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. Un material tiene una configuración de color, brillo e iluminación para simular la textura de un diente real.

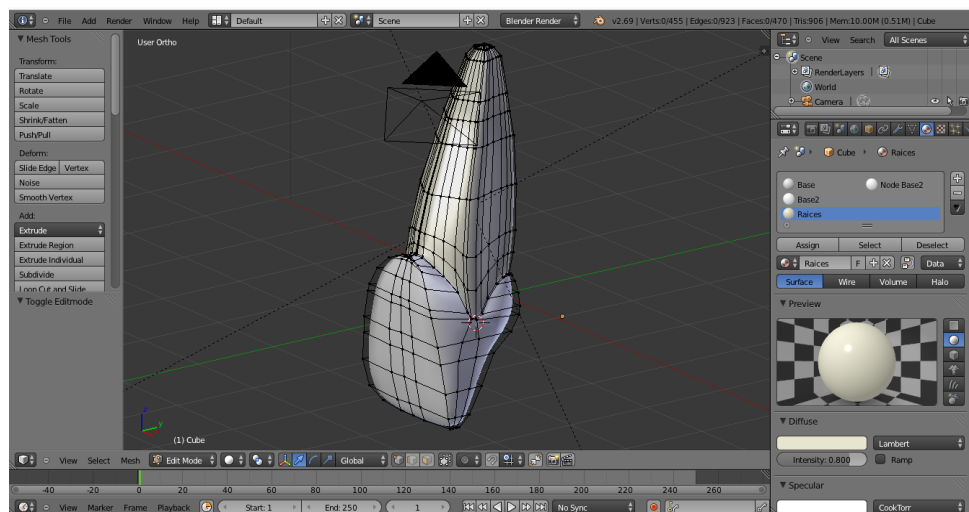


Figura 67. Aplicación de materiales en Blender sobre las piezas dentales modeladas.

El resultado obtenido para algunas de las piezas dentales se muestra en la siguiente figura.

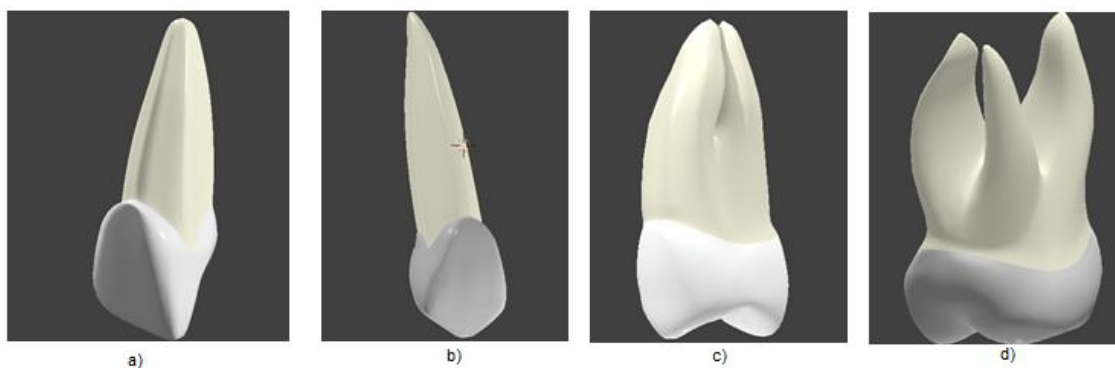


Figura 68. Resultado final de las piezas dentales modeladas en Blender a) Pieza de grupo incisivo, b) Pieza de grupo canino, c) Pieza de grupo premolar y d) Pieza de grupo molar.

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 logran dar a la dentadura la apariencia deseada. Para llevar a cabo este proceso de pintado se aplica el concepto de Unwrapping que no es otra cosa que el desenvolvimiento del objeto pasando de una malla 3D a una 2D, esta última se conoce como mapa de UVs donde cada punto en el mapa corresponde a un vértice en la malla 3D.

Sobre el mapa UV generado se pintó la textura que representara lo más real posible a la dentadura humana, este pintado se hace sobre el mismo mapa UV (Blender Wiki). Mediante la utilización de ventanas de Blender es posible ver el resultado sobre el objeto al mismo tiempo que se está creando la textura.

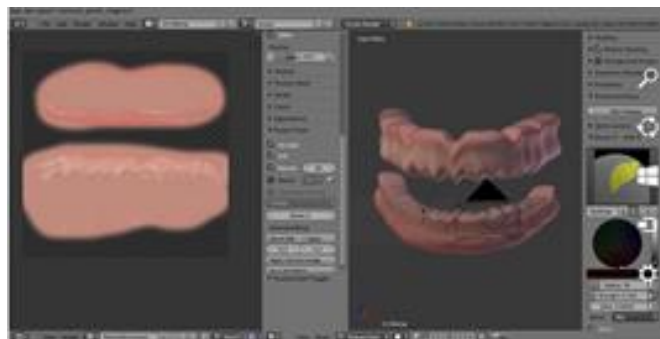


Figura 69. Pintado de texturas de los objetos 3D en Blender

Una vez se termina el proceso de pintado, se exporta el mapa UV como imagen; esta imagen es luego aplicada como textura a la dentadura. El resultado obtenido se muestra en la siguiente figura.



Figura 70. Resultado Final dentadura completa modelada en Blender.

Finalmente, después del proceso que se describió anteriormente se tienen los modelos virtuales 3D que estarán contenidos en la aplicación de Realidad Aumentada. Su construcción tenía como objetivo ser lo más reales posibles dentro del alcance de su modelado de manera que recreara las piezas dentales y la dentadura humana.

8 CONSTRUCCIÓN DE LA APLICACIÓN MÓVIL – DentAR

En este capítulo se expone los pasos que se siguieron para la construcción de la aplicación móvil como objetivo final de este proyecto.

8.1 Diseño de la aplicación

Como se mencionó con anterioridad de la reunión realizada con las personas expertas en el área: Ortodoncista Rocío Alvarez y la Odontóloga Yelitza Lilibeth González Hernández, no solo se validó la información que estaría contenida en la aplicación si no que adicional se recibieron de parte de ellas apreciaciones de lo que se esperaba pudiera realizar la aplicación. Como resultado de la reunión se obtuvo el alcance que tendría el prototipo a desarrollarse lo que dio paso a un diseño previo de la aplicación y a un objetivo propio de la misma que se describe a continuación:

8.1.1 Alcance y funcionalidades de la aplicación

La aplicación a desarrollarse estará orientada a ser una herramienta de ayuda para el aprendizaje básico del funcionamiento, morfología y posicionamiento de cada pieza dental dentro de la cavidad oral.

- **Población objetivo:** Estudiantes de primeros semestres de odontología.
- **Objetos virtuales:** La aplicación mostrará un objeto 3D de las 32 piezas dentales del ser humano en su etapa adulta (dentadura completa). Así mismo permitirá visualizar la dentadura con y sin encías de manera que

esta última permita ver morfológicamente la dentadura en su estructura completa.

- **Contenido digital:** El contenido digital, a manera de texto e imágenes que estará presente en la aplicación será la fisiología (funcionamiento), la morfología (forma), y el posicionamiento de las piezas dentales en la arcada (grupos dentales).
- **Interacción usuario-aplicación:** La aplicación mostrará un modelo 3D de la dentadura, el usuario podrá aumentar/disminuir el tamaño del objeto y rotarlo. También podrá realizar una apertura completa de la dentadura. Permitirá además mostrar u ocultar las encías presentes en el modelo y visualizar individualmente la arcada superior e inferior, así como identificar los dientes que pertenezcan a un grupo específico dentro de la arcada.
- **Recomendación del experto:** De acuerdo a lo conversado con la persona experta en el área, uno de los primeros desafíos de estudiantes de odontología es ubicar cada pieza dental dentro de la arcada por lo tanto hizo énfasis en que este concepto base debe estar presente en la aplicación. Así mismo indicó la relevancia de poder visualizar la dentadura completa sin las encías permitiendo observar la raíz de las piezas dentales. En cuanto al contenido sugirió incluir la fisiología de los dientes no solo masticatoria si no también estética, fonética y de preservación.

Dentro de lo conversado con el experto 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. Estas recomendaciones serán plasmadas como trabajos a futuro.

8.2 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 resultaba ser una herramienta interesante para la construcción de la aplicación, y de la mano con el SDK de Vuforia, habilitaba un entorno de desarrollo RA idóneo para el objetivo del proyecto. Adicional a esto Unity3d importa nativamente los archivos de Blender por lo que no es necesario exportar los objetos modelados en esta herramienta en alguno 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 un proyecto de Realidad Aumentada basada en marcadores lo primero que 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 Vuforia (el proceso de creación de marcador está descrito en la sección Herramientas SDK analizadas).



Figura 71. 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 la 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.
8. Generación del apk para Android.

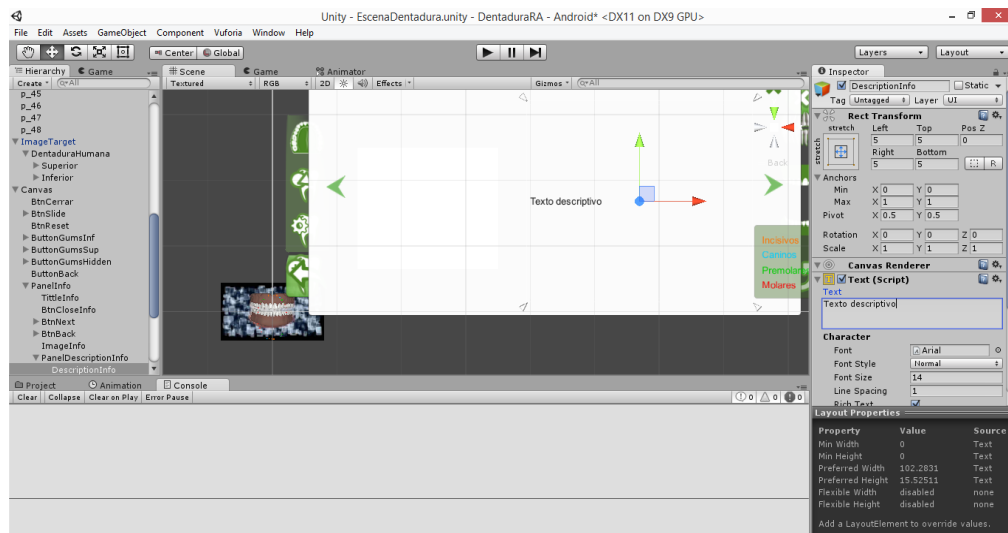


Figura 72. Construcción de la aplicación en entorno Unity3d.

8.3 Funcionamiento de la aplicación

A continuación se describen las funcionalidades contenidas en la aplicación a través de un overview sobre la misma:

1. Se ingresa a la aplicación instalada en el dispositivo móvil.



Figura 73. Aplicación instalada en aplicativo móvil

2. La aplicación da inicio permitiendo visualizar los botones de las funcionalidades contenidas en ella. Cabe anotar que estos botones no realizarán ninguna acción hasta tanto el marcador no sea detectado.



Figura 74. Inicio de la aplicación en un dispositivo móvil.

3. Se hace visible a la cámara el marcador de la aplicación lo cual dará lugar a la renderización de la dentadura como objeto 3D y habilitará los botones con las funcionalidades.



Figura 75. Renderización del modelo 3D en la aplicación.

- Una vez detectado el marcador y renderizado el modelo 3D el usuario podrá interactuar con la dentadura cambiando su tamaño reduciendo/aumentado el mismo hasta un mínimo/máximo permitido por la aplicación, también podrá 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.



Figura 76. Rotación del modelo 3D en la aplicación.



Figura 77. Aumentación del modelo 3D en la aplicación.

5. Dentro de las funcionalidades interactivas de la aplicación que se plantearon en el diseño son:



Figura 78. Funcionalidades de interactividad en la aplicación

- El botón 1 en Figura 78 permite cerrar la aplicación.
- Visualizar/Ocultar las encías: La aplicación permite mostrar u ocultar las encías de la dentadura mediante el botón 2 en la Figura 78.



Figura 79. Renderización del modelo 3D en la aplicación sin encías.

- c. Visualizar/Ocultar la arcada superior: La aplicación permite mostrar u ocultar la arcada superior de la dentadura mediante el botón 3 en la Figura 78



Figura 80. Renderización de la arcada superior del modelo en la aplicación

- d. Visualizar/Ocultar la arcada inferior: La aplicación permite mostrar u ocultar la arcada inferior de la dentadura mediante el botón 4 en la Figura 78.

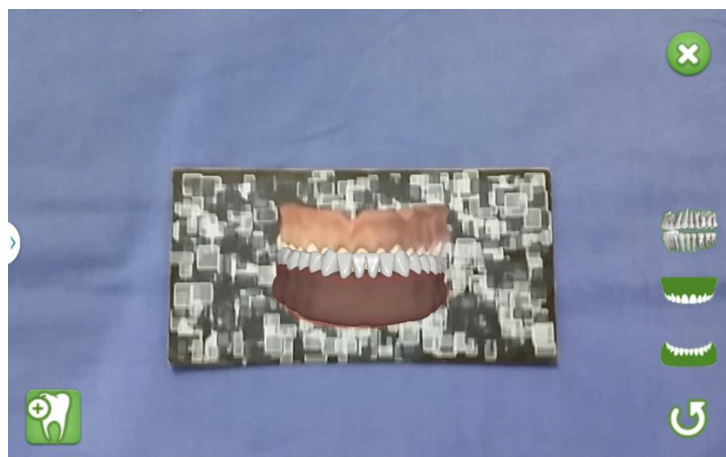


Figura 81. Renderización de la arcada inferior del modelo en la aplicación

- e. Resetear el modelo: La aplicación permite poner el modelo en su posición, tamaño original y visualización inicial mediante el botón 5 en la Figura 78.
6. El botón 6 en la imagen despliega tres funcionalidades más de contenido en la aplicación



Figura 82. Funcionalidades de contenido en la aplicación

- a. La opción 1 en la Figura 82 permite visualizar la fisiología de la dentadura humana a través de slides con información referente a su funcionamiento.



Figura 83. Slide en la aplicación con información fisiológica de la dentadura.

- b. La opción 2 en la Figura 82 permite visualizar la morfología de la dentadura humana a través de slides con información acerca de la morfología y composición de una pieza dental dentro de la arcada.

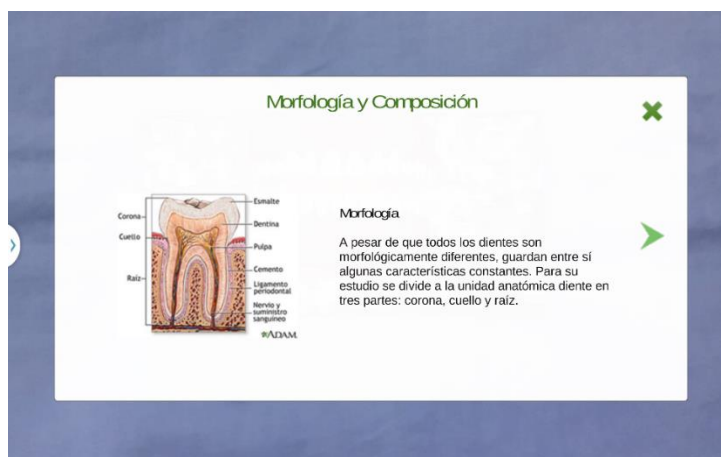


Figura 84. Slide en la aplicación con información morfológica de la dentadura

- c. La opción 3 en la Figura 82 permite visualizar el odontograma en forma de un modelo tridimensional abierto de la dentadura. El odontograma es la ubicación (numeración) de los dientes dentro de la arcada, así mismo se identifican los dientes que pertenecen a cada grupo en los cuales se divide la arcada.

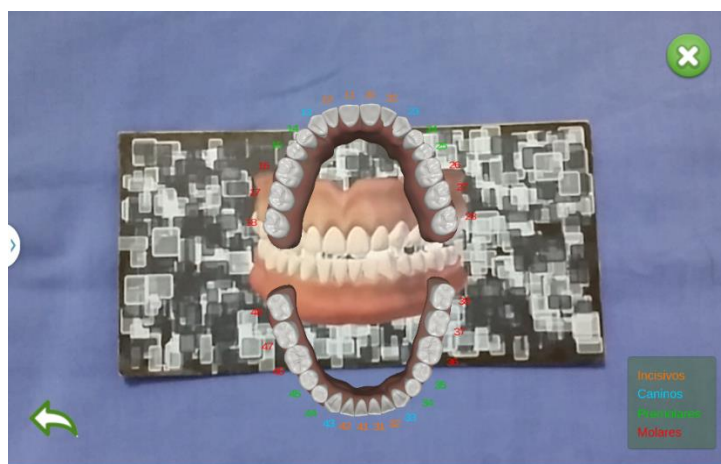


Figura 85. Odontograma 3D renderizado en la aplicación.

9 PRUEBAS

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 2014 Edition. 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 tuvieron 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. A continuación se presenta una tabla resumen con los resultados de las pruebas reales sobre los dispositivos.

Tabla 9. Resultado de pruebas reales sobre dispositivos móviles

Pruebas Reales			
	Interactividad con el modelo	Interactividad con el contenido informativo	Distribución de opciones en la pantalla
Samsung Galaxy S3 mini	Exitosa	Exitoso	Exitosa
Samsung Galaxy S5	Exitosa	Exitoso	Exitosa
Samsung Galaxy Note 10.1 2014 Edition	Exitosa	Exitoso	Exitosa

Tabla 10. Características de dispositivos móviles utilizados para pruebas.

Dispositivos móviles	
Dispositivo	Características
Samsung Galaxy S3 mini	OS: Android Jelly Bean 4.1.2 Procesador: Dual core @ 1GHz RAM: 1GB Pantalla: Touch 4,0 " Resolución: 400 x 800 px Cámara: 5MP
Samsung Galaxy S5	OS: Android Kit Kat 4.4.1 Procesador: Quad Core 2.5 GHz RAM: 3GB Pantalla: Touch 5,1 " Resolución: 1080 x 1920 px Cámara: 16MP
Samsung Galaxy Note 10.1 2014 Edition	OS: Android Jelly Bean 4.3 Procesador: Quad Core 2,3 GHz RAM: 3GB Pantalla: Touch 10,1 " Resolución: 1600 x 2560 px Cámara: 8MP

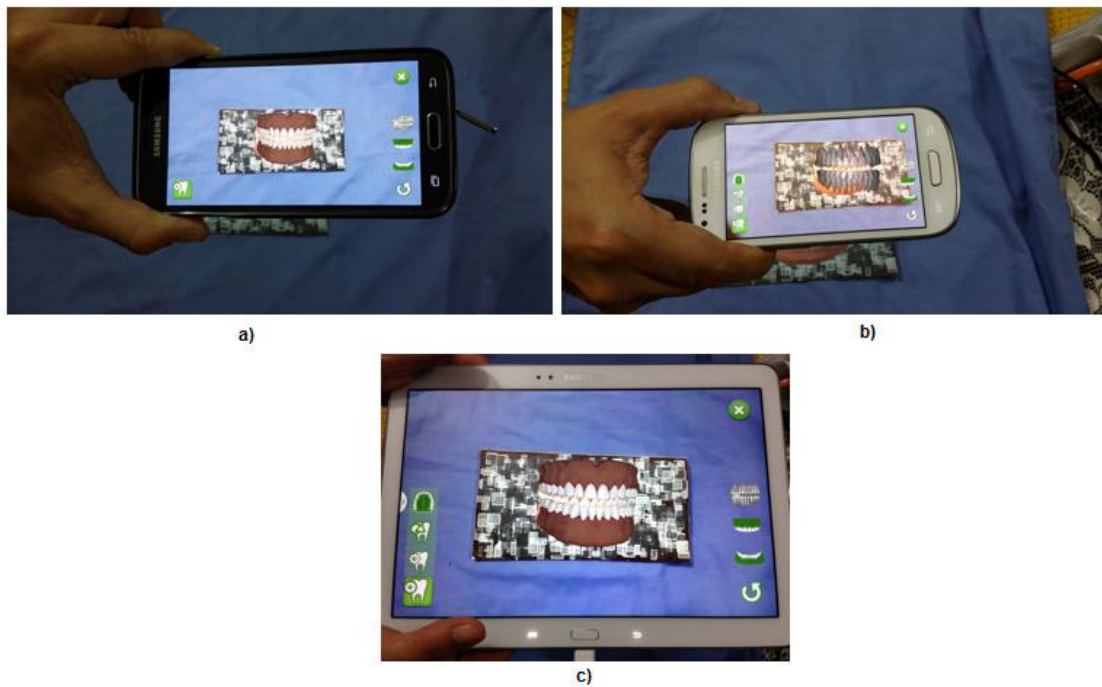


Figura 86. Ejecución de la aplicación en diferentes dispositivos móviles. a) Samsung Galaxy S5, b) Samsung Galaxy S3 mini, c) Samsung Galaxy Note 10.1 Edición 2014

10 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 contendrá la aplicación. Sin embargo la información extraída fue revisada y validada con un profesional 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 aquello que soportaran Android con la premisa de que fueran además herramientas de libre distribución de manera que no implicaran costos adicionales al proyecto.

El diseño y elaboración de las pruebas para la selección de la mejor herramienta para el desarrollo del proyecto tomó mayor esfuerzo del estimado inicialmente debido a la curva de aprendizaje de cada herramienta seleccionada.

Para la construcción de los modelos tridimensionales que estarán en la aplicación se dedicó un mayor esfuerzo del estimado, ya que fue necesario el

estudio previo de la herramienta de modelamiento 3D con la que se elaboraron los mismos.

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.

Por último en el proceso de elaboración del proyecto 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 test que permitan 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.

BIBLIOGRAFÍA

Alexandrescu, L. (2013). Bringing Augmented Reality for learning in dentistry (Tesis de Maestría). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

AndAR. Proyecto AndAR – Realidad Aumentada para Android. Recuperado de:
<https://code.google.com/p/andar/>

AndAR es una biblioteca de código abierto, para crear aplicaciones RA. Fue realizada bajo el marco un proyecto de carrera de la universidad Dualen Hochschule en Alemania (Domhan, 2010)

ARToolkit. Librería para la construcción de aplicaciones de Realidad Aumentada. Recuperado de: <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>

Augmented Reality Interactive Prostheses. Virtuallis Augmented Reality. Recuperado de: <http://virtuallisar.com.br/en/cases/proteses-em-realidade-aumentada-com-interatividade/>

Azuma, R. T. (1997). A Survey of Augmented Reality. Teleoperators and Virtual Environments, 6(4), pp. 355 – 385.

Bell, B., Feiner, S., Höllerer, T. (2001). View Management for Virtual and Augmented Reality, In Proc. UIST '01, pp. 101 – 110.

Blender. Herramienta para modelamiento 3D. Recuperado de:
<http://www.blender.org/>

Ciorallo G. (2011). Aplicaciones de la realidad aumentada (Tesis de grado).
Escuela Universitaria Politécnica de Mataró, Marató, España.

Caudell, T. P., Mizell D. W. (1992). Augmented Reality: An Application of
Heads-Up Display Technology to Manual Manufacturing Processes. IEEE
Hawaii International Conference on Systems Sciences, pp 659 – 669.

Cheok, A. D., Fong, S. W., Goh, K. H., Yang, X., Liu, W., Farzbiz, F. (2003).
Human Pacman: a sensing-based mobile entertainment system with
ubiquitous computing and tangible interaction. Proceedings of the 2nd
Workshop on Network and System Support For Games (NetGames '03),
pp. 71 – 81.

Daqri. (2011). Anatomy 4D. Recuperado de: <https://www.vuforia.com/case-studies/anatomy-4d>

Davis, N. (2012, Septiembre 06). Augmented Reality SDK Comparison. Social
Compare. Recuperado de:
<http://socialcompare.com/en/comparison/augmented-reality-sdks>

Developers Android. (Julio, 2014) Relative number of devices running a given version of the Android platform. Recuperado de: https://developer.android.com/about/dashboards/index.html?utm_source=ausdroid.net

Díaz, C., Pérez G. (2013). Desarrollo de una Aplicación Móvil Basada en la Realidad Aumentada para la Ubicación Geo localizada de Lugares de Interés al Interior de la Universidad Industrial de Santander (Tesis de grado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

Domhan T. (2010). Augmented Reality on Android Smartphone (Tesis de grado). Duale Hochschule Baden-Württemberg, Stuttgart, Baden-Württemberg, Alemania.

Esponda, R. (1994). Anatomía Dental. Universidad Nacional Autónoma de México, México, México D.F.

Feiner, S., MacIntyre, B., Höllerer T., Webster, A. (1997). A touring machine: Prototyping 3D mobile augmented reality systems for exploring the urban environment. IEEE International Symposium on Wearable Computers, pp. 74–81.

Ferrer J. (2013). Principios Básicos en Anatomía de la Pierna y el Pie. AR-Books Realidad aumentada. Recuperado de: <http://www.arbooks.com/interior.php?contenido=libro.php&id=5>

Figuerola, D., Angarita W. (2013). Diseño y Desarrollo de un Módulo de Apoyo a la Enseñanza de la Química Básica en la Media Vocacional por Medio de la Realidad Aumentada (RA) (Tesis de grado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

Figún, M. E., Gariño, R. R. (1986). Anatomía Odontológica Funcional y Aplicada. El Ateneo, Buenos Aires, Argentina.

Fruend, J., Geiger, C., Grafe, M., Kleinjohann, B. (2001). The Augmented Reality Personal Digital Assistant. International Symposium on Mixed Reality (ISAR 2001).

González, C., Vallejo. D., Albusac., J.A., Castro., J.J. Realidad Aumentada. Un Enfoque con ARToolKit y Blender. España: Bubok Publishing S.L.

Henrysson, A., Billinghurst, M., Ollila, M. (2005). Face to Face Collaborative AR on Mobile Phones. Proceedings of the 4th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, pp. 80 – 89.

Julier, S., Baillot, Y., Lanzagorta, M., Brown, D., Rosenblum, L. BARS: Battlefield Augmented Reality System. (2000). NATO Information Systems Technology Panel Symposium on New Information Processing Techniques for Military Systems.

Junaio. Navegador de Realidad Aumentada. Recuperado de:
<http://www.junaio.com/>

Kalkusch, M., Lidy, T., Knapp, M., Reitmayr, G., Kaufmann, H., Schmalstieg, D. (2002). Structured Visual Markers for Indoor Pathfinding. Augmented Reality Toolkit, The First IEEE International Workshop. IEEE. ISBN: 0-7803-7680-3

Kato H., Billinghurst, M. (1999). Marker tracking and HMD calibration for a video-based augmented reality conferencing system, Proceedings of the 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality, pp. 85 – 94.

Kretschmer, U., Coors, V., Spierling, U., Grasbon, D., Schneider, K., Rojas, I., Malaka, R. (2001). Meeting the spirit of history. Conference on Virtual reality, archeology, and cultural heritage, pp. 141 – 152.

Kooper, R., MacIntyre, B. (2003). Browsing the Real-World Wide Web: Maintaining Awareness of Virtual Information in an AR Information Space. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 16(3), pp. 425 – 446.

Layar. SDK de Layar para Realidad Aumentada. Recuperado de: <https://www.layar.com/documentation/layar-sdk/>

Loomis, J., Golledge, R., Klatzky, R. (1993). Personal guidance system for the visually impaired using GPS, GIS, and VR technologies. *Conference on Virtual Reality and Persons with Disabilities*.

Martinez, D., Hernández S. (2013). 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.

Metaio. SDK de Metaio para Realidad Aumentada. Recuperado de: <http://www.metaio.com/products/mobile-sdk/>

Milgram, P., Kishin, F., (1994). Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. *IEICE Transactions on Information and Systems*, pp.1321 – 1329.

Mischkowski, R.A., Zinser M.J., Kubler, A.C., Krug, B., Seifert, U., Zoller, J.E.

(2006) Application of an augmented reality tool for maxillary positioning in orthognathic surgery – A feasibility study. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 34 (8), pp. 478 – 483: ELSEVIER. ISSN: 1010-5182.

Miyashita, T., Meier, P., Tachikawa, T., Orlic, S., Eble, T., Scholz, V., Gapel, A.,

Gerl, O., Arnaudov, S., Lieberknecht, S. (2008). An Augmented Reality Museum Guide. *Proceedings of the 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, pp. 103 – 106.

Möhring, M., Lessig, C., Bimber, O. (2004). Video See-Through AR on

Consumer Cell Phones. *Proceedings of the 3th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, pp. 252-253.

Netter, F.H. (2011). Capítulo 2. Cabeza y Cuello. *Atlas de Anatomía Humana*.

Barcelona, España: EISEVIER.

Mullen, T.K (2011). *Prototyping Augmented Reality* (1st ed.). Indianápolis, IN :

Wiley Publishing, Inc.

NyARToolkit. Librería para la construcción de aplicaciones de Realidad

Aumentada. Recuperado de: http://nyatla.jp/nyartoolkit/wp/?page_id=198

Perfect Prototype. (2012). Augmented Reality: The Brain. The Chicago Museum of Science and Industry.

<http://www.perfectprototype.com/site/archives/1149>

Pintaric, T. (2004). The Invisible Train: A Handheld Collaborative Augmented-Reality Demonstrator. SIGGRAPH 2004 Emerging Technologies Exhibition.

Qiao, C., Wang, Y., Weng, D., Qi, H. (2011). An Augmented Reality Based Teeth Shade Matching System. Proceedings of the 10th International Conference on Virtual Reality Continuum and Its Applications in Industry, pp. 371 – 374. ACM. ISBN: 978-1-4503-1060-4.

Reitmayr, G., Drummond, T. (2006). Going Out: Robust Model-based Tracking for Outdoor Augmented Reality. Proceedings of 5th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, pp. 109 – 118.

Reitmayr, G., Schmalstieg, D. (2001). Mobile Collaborative Augmented Reality. International Symposium on Augmented Reality, pp. 114-123.

Rekimoto, J. (1998). Augmented Reality Using the 2D Matrix Code. Proceedings. 3rd Asia Pacific Computer Human Interaction, pp. 63 – 68.

Rekimoto, J., Nagao K. (1995). The World through the Computer: Computer Augmented Interaction with Real World Environments. Proceedings of the 8th annual ACM symposium on User interface and software technology, pp. 29 – 36.

Rhienmora, P., Suebnukarn, S., Dailey, M. N., Gajananan, K., Supataratarn, E., Haddawy, P., Shrestha, P. (2010). Haptic Augmented Reality Dental Trainer with Automatic Performance Assessment. Proceedings of the 15th international conference on Intelligent user interfaces, p.p 425 – 426. ACM. ISBN: 978-1-60558-515-4.

Starner, T., Mann, S., Rhodes, B., Levine, J., Healey, J., Kirsch, D., Picard, R.W., Pentland, A. (1997). Augmented Reality Through Wearable Computing, In Presence, Special Issue on Augmented Reality.

StatCounter Global. Top 8 Mobile Operating Systems from Aug 2013 to July 2014. Recuperado de: http://gs.statcounter.com/#mobile_os-CO-monthly-201308-201407.

Sood, R (2012). Pro Android augmented reality. New York, NY: Apress.

Sutherland, I. (1968). A head-mounted three dimensional display. Proceedings of Fall Joint Computer Conference, pp. 757 – 764.

Thomas, B., Close, B., Donoghue, J., Squires, J., De Bondi, P., Morris, M., Piekarski, W. (2000). ARQuake: An Outdoor/Indoor Augmented Reality First Person Application. International Symposium on Wearable Computers, 4, pp. 139 – 146.

Thomas, B., Demczuk, V., Piekarski, W., Hepworth, D., Gunther, B. (1998). A wearable computer system with augmented reality to support terrestrial navigation. IEEE International Symposium on Wearable Computers, 2, pp. 168 – 171.

Unity3D. Herramienta para modelamiento 3D. Recuperado de:
<http://unity3d.com/es>

Vlahakis, V., Karigiannis, J., Tсотros, M., Gounaris, M., Almeida, L., Stricker, D., Gleue, T., Christou, I., Carlucci, R., Loannidis, N. (2001). ARCHEOGUIDE: First results of an Augmented Reality, Mobile Computing System in Cultural Heritage Sites. Virtual Reality, Archaeology, and Cultural Heritage International Symposium, pp. 131 – 140.

Vuforia. SDK de Vuforia para Realidad Aumentada. Recuperado de:
<https://www.vuforia.com/>

Wagner D., Schmalstieg D. (2007). ARToolKitPlus for Pose Tracking on Mobile Devices. Proceedings of 12th Computer Vision Winter Workshop (CVWW'07), pp. 139 – 146.

Wagner D. (2010). History of Mobile Augmented Reality. Christian Doppler Laboratory for Handheld Augmented Reality. Recuperado de: <https://www.icg.tugraz.at/~daniel/HistoryOfMobileAR/>

Wikitude The World's leading Augmented Reality SDK. Recuperado de: <http://www.wikitude.com>

Wu, J.R., Wang, M.L., Liu, K.C., Hu, MH4., Lee, P.Y. (2014). Real-time advanced spinal surgery via visible patient model and augmented reality system. *Comput Methods Programs Biomedicine*, 113 (3), pp. 869 – 881.